Messung der Leistungsfähigkeit mit der AGARD-STRES-Battery nach partiellem Schlafentzug im Vergleich zu Alkohol und Hypoxie

Von der Medizinischen Fakultät
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Medizin
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Inform. Okan Gür
aus
Kayseri (Türkei)

Berichter: Herr Universitätsprofessor
Dr. med. Rupert Gerzer

Herr Universitätsprofessor
Dr. med. Thomas Kraus

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Mai 2011

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.

‘Der Himmel hat den Menschen als Gegengewicht gegen die vielen
Mühseligkeiten des Lebens drei Dinge gegeben:
Die Hoffnung, den Schlaf und das Lachen.’
(Immanuel Kant)

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis V

1. Einleitung 1

1.1. Zielsetzung . . . 2

2. Theoretische Grundlagen 5

2.1. Stressoren Schlaf, Alkohol und Hypoxie . . . 5

2.1.1. Schlaf . . . 5

Normale Schlaflänge . . . 5

Zirkadiane Schlaf-Wach-Störungen . . . 8

Schlafstörungen bei Schicht- und Nachtarbeit . . . 11

Verkürzte Schlafdauer und Leistungsfähigkeit . . . 12

2.1.2. Alkohol . . . 12

Blut- und Atemalkoholkonzentration . . . 14

Alkohol und Leistungsfähigkeit . . . 16

2.1.3. Hypoxie . . . 17

Hypoxie und Leistungsfähigkeit . . . 18

2.2. Testverfahren . . . 19

2.2.1. Psychometrische Verfahren . . . 19

2.2.2. Sternberg Paradigma . . . 22

2.2.3. Spezifikation der AGARD-STRES-BATTERY . . . 25

3. Material und Methoden 31

3.1. PSD Studie . . . 31

3.1.1. AMSAN . . . 31

3.1.2. Auswahlkriterien . . . 32

3.1.3. Studienablauf . . . 33

3.1.4. Tagesablauf . . . 35

3.1.5. Hypoxie . . . 36

3.1.6. Alkohol . . . 37

Messung der Alkoholkonzentration . . . 37

Cross-Over-Design der Alkoholgabe . . . 37

3.1.7. Physiologische Daten . . . 38

3.2. Messung der Leistungsfähigkeit 40
3.2.1. AGARD2EXCEL 41
3.2.2. Trainings- und Testmodus 41
3.2.3. SRT - Single Reactiontime Task 42
3.2.4. GRT - Grammatical Reasoning Task 45
3.2.5. MST - Memory Search Task 49
3.2.6. UTT - Unstable Tracking Task 52
3.2.7. DUT - Dual Task 57
3.2.8. TLX - Taskload Index 59
3.3. Statistische Methoden 60

4. Ergebnisse **63**
4.1. Vergleichsstressoren Alkohol und Hypoxie 63
4.1.1. Alkohol 63
4.1.2. Hypoxie 69
4.1.3. Cross-Over-Design bei Hypoxie und Alkohol 69
4.2. Leistungsfähigkeit nach Schlafdeprivation 70
4.2.1. Normierung der Daten 70
4.2.2. Lernkurven 73
4.2.3. SRT Single Reaction Task 73
4.2.4. GRT Grammatical Reasoning Task 79
4.2.5. MST Memory Search Task 86
4.2.6. UTT Unstable Tracking Task 93
4.2.7. DUT Dual Task 99
MST unter Mehrfachbelastung 99
UTT unter Mehrfachbelastung 105
4.3. Fragebögen 111
4.3.1. Subjektive Beurteilung der Leistungsfähigkeit 111

5. Diskussion **115**

6. Zusammenfassung **123**

A. Benutzerhandbuch - AGARD2EXCEL **125**
A.1. Benutzer-Anforderungen 126
A.2. Kurzanleitung AGARD2EXCEL 127
A.3. Tabellenkalkulationsprogramm Excel™ 130
A.4. Excel Voreinstellungen 132
A.5. Programmierung als Add-In 133
A.5.1. Erstellen eines Add-In 134
A.5.2. Laden und Entfernen eines Add-In 136
A.5.3. Automatische Selbst-Registrierung 138

A.6. Graphische Benutzeroberfläche 142
A.7. Schritt 1: Erzeugung der Probanden-Mappen 146
A.8. Schritt 2: Prozessieren der Leistungsdaten 150
A.8.1. Namenskonvention und Struktur der Ergebnisdaten 151
A.8.2. Datenauswahl 153
Standardabweichung 154
A.9. Schritt 3: Darstellung der Ergebnisse als Diagramm 156
A.10. Erweiterbarkeit von AGARD2EXCEL 156

B. Quelltext - Agard2Excel 157
B.1. KLASSE DieseArbeitsmappe 157
B.2. MODUL MenuLeiste 159
B.3. MODUL Optionen 163
B.4. MODUL Mappe 164
B.5. MODUL Tabellen 165
B.6. MODUL DatenKonvertierung 170
B.7. MODUL DatenAlsTabelle 179
B.8. MODUL DatenAlsDiagramm 188

Abbildungsverzeichnis 197

Tabellenverzeichnis 201

Literatur 203

Danksagung 215

Erklärung § 5 Abs. 1 zur Datenaufbewahrung 217

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AAK	Atemalkoholkonzentration
AGARD	Advisory Group for Aerospace Research and Development
AGARD2EXCEL	Auswerte-Programm zur automatisierten Nachverarbeitung
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BAK	Blutalkoholkonzentration
Basic	Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DUT	Dual Task, Doppelaufgabe
GRT	Grammatical Reasoning Task, Satzverifikation
HPT	Human Performance Theorie
ICSD	International Classification of Sleep Disorders
IDE	Integrated Developement Environment
KZG	Kurzzeitgedächtnis
LZG	Langzeitgedächtnis
MMI	Mensch-Maschine-Interaktionen
MS DOS	Microsoft Disk Operating System
MST	Memory Search Task, Gedächtnissuche
NREM-Schlaf	Non-Rapid Eye Movement-Schlaf
PSD	Partielle Schlaf Deprivation
REM-Schlaf	Rapid Eye Movement-Schlaf
RMS	Root Mean Square = Quadratisches Mittel
SBAS	Schlafbezogene Atmungsstörungen
SRT	Single Reaction Task, Reaktionszeit
STRES	Standardized Tests for Research with Environmental Stressors
TLX	Taskload-Index, Subjektive Arbeitsbelastung
UTT	Unstable Tracking Task, Nachführen
VBA	Visual Basic für Anwendungen

1. Einleitung

Die moderne, arbeitsteilige Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft verlangt von vielen Berufsgruppen einen flexiblen Einsatz rund um die Uhr, um den ökonomischen und gesellschaftlichen Anforderungen gerecht zu werden. Dafür sind Tätigkeiten erforderlich, die über den normalen Rahmen eines 8-Stunden-Arbeitstags hinausgehen [Smith u. a., 1998]. Schichtsysteme gehören mit zunehmender Tendenz zu den praktizierten Arbeitsformen. Nach einer Studie, die im Auftrag des Ministeriums für Arbeit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen im Jahr 2001 durchgeführt wurde, waren 18% aller Beschäftigten in Deutschland im Schichtdienst tätig [Bauer u. a., 2002]. Dem Vorteil einer kontinuierlichen Dienstleistung stehen jedoch ungewöhnliche und unregelmäßige Schlaf-Wach-Zeiten der im Schichtdienst Beschäftigten gegenüber. Dies gilt insbesondere für den Nachtdienst. Häufig ist der Schlaf nach einer Nachtschicht kürzer und wird als weniger erholsam erlebt, da bei einem Tagschlaf zusätzliche Umwelteinflüsse wie Lärm, Tageslicht und höhere Umgebungstemperaturen den Schlaf stören können [Åkerstedt, 1998; Samel und Basner, 2005].

Auch die zivile und kommerzielle Luftfahrt benötigt vom Luftpersonal vor dem Hintergrund eines gesteigerten Bedarfs an Mobilität verstärkt Dienstzeiten rund um die Uhr. Dies wird durch die Anzahl der beförderten Personen belegt. Das Statistische Bundesamt gibt die Anzahl an Fluggästen in Deutschland im Jahr 2007 mit 177 Millionen an. Weltweit nutzten im selben Jahr rund 1,6 Milliarden Menschen das Flugzeug als Transportmittel, wobei die jährlichen Steigerungsraten im Mittel bei 5 Prozent liegen [Pompl, 2007]. Das Flugpersonal kann diese gesteigerte Anzahl nur durch Schichtdienste bewältigen. Viele in der Luftfahrt Beschäftigte berichten als Folge dieser Schichtdienste von einer situationsbedingten Verminderung der Schlafdauer [Caldwell, 1997; Jackson und Earl, 2006; Samel u. a., 1997].

Das Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln-Porz hat zahlreiche Feldstudien in luftfahrtbezogenen Berufsfeldern durchgeführt. So fanden Samel und Wegmann [1988] bei Untersuchungen an Piloten bei ihrem Einsatz auf Langstreckenflügen von Deutschland nach Japan via Anchorage, Alaska, eine verkürzte Schlafdauer. Dass ein Gefahrenpotenzial durchaus gegeben ist, haben Samel u. a. [1995] auf eindrucksvolle Weise bei Piloten auf Langstreckenflügen zwischen Deutschland und der US-Westküste zeigen können. Sie fanden eine in Abhängigkeit von der Flugdauer signifikant erhöhte Anzahl an Mikroschlafepochen (sog. Sekundenschlaf). Weitere Untersuchungen von Samel u. a. [2004]; Vejvoda u. a. [2000, 1999, 1998] zur Belastung und Beanspruchung von Hubschrauberpiloten im Luftrettungs-

dienst ergaben, dass Piloten während der Dienstperiode über mehrere Tage erheblich kürzer schliefen als in der dienstfreien Zeit.

1.1. Zielsetzung

Am Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde eine Studie zu Fragen der Leistungsfähigkeit nach einer Schlafdauerverkürzung über einen Zeitraum von 4 Tagen von 8h auf 5h durchgeführt. In dieser Dissertation werden die Ergebnisse dieser Studie zur partiellen Schlafdeprivation (PSD Studie) vorgestellt.

An dieser Studie nahmen 8 männliche Probanden teil, die sich für insgesamt 12 Tage in der schall- und lichtisolierten arbeitsmedizinischen Simulationsanlage (AMSAN, siehe Seite 31) im Untergeschoß des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin im DLR, Köln-Porz, aufhielten. Vor Beginn der Studie mussten die Probanden an verschiedenen Tagen mehrere Einzelsitzungen zum Erlernen der Leistungstest absolvieren. Nach dieser Trainingsphase sollte ein stabiles Lernplateau erreicht werden, damit während der Versuchsphase die Ergebnisse der Leistungstests nicht durch Lerneffekte verfälscht werden.

Die Messung der Leistungsfähigkeit erfolgte mit Hilfe von rechnergestützten Testverfahren, die entsprechend einer Spezifikation der *Advisory Group for Aerospace Research and Development* (AGARD) zusammengestellt wurden. Die Spezifikation legt sieben verschiedene Aufgabentypen fest, die als *AGARD-STRES-Battery* (AGARD Standardized Tests for Research with Environmental Stressors Battery) von einem NATO Gremium veröffentlicht wurden [AGARD, 1989].

Um die gemessenen Daten mit bekannten Referenz-Größen vergleichen zu können, wurde die Leistungsfähigkeit im Studiendesign der PSD Studie zum einen unter *Alkoholeinnahme* und zum anderen bei *verminderter Sauerstoff-Konzentration* (Hypoxie) in der Atemluft an unterschiedlichen Tagen mituntersucht.

Alkohol ist eine von der Gesellschaft tolerierte Genussdroge. Die gesetzlich zulässige Promille-Grenze zum Autofahren liegt nach § 24a StVG bei 0,5‰ Alkohol. In zahlreichen Studien konnte eine Leistungsminderung nach Alkoholkonsum nachgewiesen werden [Dawson und Reid, 1997a,b; Fairclough und Graham, 1999]. Auch gibt es Zahlen über Verkehrsunfälle, in denen die Beteiligten unter Alkoholeinfluss standen [Krüger und Vollrath, 2004; Ogden und Moskowitz, 2004].

Hypoxie spielt insbesondere in schlafbezogenen Atmungsstörungen, wie der Schlafapnoe-Syndrome, und der Höhenphysiologie eine wichtige Rolle. In Studien konnte eine Leistungsminderung unter Hypoxie gezeigt werden [Ayalon u. a., 2009; Leifflen u. a., 1997].

In der PSD Studie sollte die Frage beantwortet werden, welcher Hypoxiegrad bzw. welches Schlafdefizit einer Leistungsfähigkeit bei 0,5‰ Alkohol entsprechen. Aber auch die Frage nach der Wahl geeigneter Testverfahren aus dem Sortiment, den die AGARD-

STRES-Battery zur Verfügung stellt, stand im Mittelpunkt der Auswertung. Gesucht wurde das Testverfahren mit der höchsten Sensitivität in Bezug zu dem jeweiligen Stressor. Auf dieser Basis wurden folgende Hypothesen untersucht:

Hypothese 1: Alkoholeinfluss und Hypoxie beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit.

Hypothese 2: Partieller Schlafentzug führt zu einer Veränderung der Leistung in objektiven Leistungstests, die der unter Alkoholeinfluss und Hypoxie ähnelt.

Hypothese 3: Je nach Art der Leistungstests (Einfach-Reaktionsaufgabe, Wahl-Reaktionsaufgabe, Diskriminationsaufgabe) zeigen sich unterschiedliche Veränderungen der Leistungsfähigkeit.

Hypothese 4: Partieller Schlafentzug führt zu einer veränderten Bewertung der subjektiven Leistungsfähigkeit, die der unter Alkoholeinfluss und Hypoxie ähnelt.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Stressoren Schlaf, Alkohol und Hypoxie

Die nachfolgenden Kapitel stellen die Stressoren verkürzte Schlafdauer, Alkohol und Hypoxie insbesondere in Bezug zur Leistungsfähigkeit vor.

2.1.1. Schlaf

Schlaf ist ein an den 24-Stunden-Tagesrhythmus mit einem Erholungsoptimum in der Nachtphase gekoppelter Prozess [Peter u. a., 2007]. Im Schlaf kommt es zu einer Reduktion der Wahrnehmung, der Reaktionsbereitschaft und der Körpermotorik. Die Entwicklung der Elektroenzephalographie (EEG) durch Hans Berger [Berger, 1929] ermöglichte erstmals die Messung der summierten elektrischen Aktivität des Gehirns. Loomis u. a. [1935b] zeichneten mit Hilfe des EEGs charakteristische Gehirnaktivitäten auf, die mit verschiedenen Schlaftiefen assoziiert waren. So konnte eine auch heute noch gültige Stadieneinteilung des Schlafs nach bestimmten Gehirnwellen erstellt werden [Davis u. a., 1937; Loomis u. a., 1935a]. Aserinsky und Kleitman [1953] wiesen nach, dass in bestimmten Schlafstadien regelmäßige Augenbewegungen (Rapid-eye-movement-Schlaf, REM-Schlaf) auftreten. Personen, die im REM-Schlaf geweckt wurden, berichteten gehäuft über Träume [Dement und Kleitman, 1957]. Die am weitesten verbreiteten Kriterien der Schlafstadieneinteilung beruhen auf einer Arbeit von Rechtschaffen und Kales aus dem Jahr 1968 [Rechtschaffen und Kales, 1968]. Dabei wird zwischen REM-Schlaf und Non-REM-Schlaf, bestehend aus den Schlafstadien 1–4, unterteilt. Für jedes dieser Stadien existieren definierte EEG-Kriterien. Im Rahmen der PSD-Studie wurde während der gesamten Studiendauer bei jedem Probanden die Ströme aus der Elektroenzephalographie (EEG), Elektrookulographie (EOG) sowie Elektromyographie (EMG) aufgezeichnet und nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales ausgewertet. Die Ergebnisse sind für die PSD Studie als Dissertation [Mauss, 2004] publiziert worden. Uns interessiert zunächst die Frage, was einer normalen Schlaflänge entspricht.

Normale Schlaflänge

Ungeachtet zahlreicher Studien in der Schlafforschung und der Diagnostik verschiedener Schlafstörungen, gibt es noch keine Antwort auf die Frage, was einer normalen Schlaflänge entspricht. Das gegenwärtige Wissen zur habituellen Schlafdauer basiert in erster Li-

nie auf Umfrageergebnisse. Diese zeigen eine altersabhängige Schlafdauer, wobei die Schlaflänge mit zunehmendem Alter abnimmt [Iglowstein u. a., 2003; Rühle, 2006].

Ein Neugeborenes verbringt etwa 2/3 des Tages (12-17h) schlafend. Alle zwei bis sechs Stunden wacht es auf und schläft kurz danach wieder ein. Der Schlaf ist nahezu gleichmäßig auf 24 Stunden verteilt, eine zirkadiane Rhythmik ist kaum ersichtlich. Vorschulkinder benötigen in der Regel etwa die Hälfte des Tages (12h) zum Schlafen. Bei Zehn- bis Elfjährigen sinkt der Bedarf auf ungefähr 10h und beträgt bei 13-Jährigen im Mittel noch 9h. Ab dem 13. Lebensjahr berichten die Befragten auch erstmals eine Zunahme der Schlafdauer am Wochenende gegenüber den Werktagen, gleichzeitig wird die Phasenlage des Nachtschlafs in der Pubertät nach hinten verschoben. Mit Beginn der Pubertät sinkt die Schlafdauer weiter auf acht Stunden ab. Danach tritt eine weitere aber weniger rasche Reduktion der Schlaflänge auf, die bei den 20 bis 40-Jährigen auf einen Wert zwischen 7h und 8h abflacht. Die im hohen Alter berichtete Abnahme der Hauptschlafepisode unter 6h relativiert sich einerseits durch vermehrte Kurzschlafphasen am Tage, andererseits aber auch durch die gleichzeitige Zunahme von Schlafstörungen.

Aber nicht nur die Schlaflänge weist eine Abhängigkeit vom Lebensalter auf, sondern auch der prozentuale Anteil des REM-Schlafs an der Gesamtschlafdauer. Beim Säugling besteht nahezu die Hälfte des Schlafs aus REM-Schlaf. Schon im Verlauf des ersten Lebensjahres verringert sich die REM-Schlafzeit drastisch, wogegen die Non-REM-Schlafzeit annähernd gleich bleibt. Im Erwachsenenalter beträgt der REM-Schlafanteil am Gesamtschlaf lediglich 19-23 %. In der Abbildung 2.1 sind der charakteristische Verlauf der Wach- und Schlafzeiten und der Anteil von REM- und NREM-Schlaf im Verlauf des Lebens wiedergegeben.

Die habituelle Schlafdauer beträgt nach Umfrageergebnissen bei der erwachsenen Bevölkerung Europas und Nordamerikas durchschnittlich sieben bis acht Stunden [Kripke u. a., 1979], wobei dieser Wert laut neuesten Umfragen eher bei sieben Stunden liegt [Bartlett u. a., 2008; Groeger u. a., 2004]. Die Schlafdauer zeigt eine Abhängigkeit vom Alter, Geschlecht, zirkadianer Phasenlage und auch der Jahreszeit. Unter besonderen Stressbedingungen wie psychischen und somatischen Erkrankungen oder situativen Einflüssen wie Leistungsanforderungen im Beruf zeigen sich auch größere, intraindividuelle Schwankungen der Schlafdauer, wie Åkerstedt u. a. [2007] in zahlreichen Studien nachweisen konnten. Sie fanden heraus, dass Schlafstörungen gehäuft bei Patienten auftreten, die unter einem sog. Burn-Out-Syndrom mit den charakteristischen Merkmalen einer körperlichen und emotionalen Erschöpfung leiden. Bei den Betroffenen zeigte sich ein vermehrtes Auftreten von Schlafunterbrechungen mit herabgesetzten Schlafstadien 3 und 4 (Tiefschlafphasen). Diese Schlafunterbrechungen hängen offensichtlich auch mit endokrinen und metabolischen Veränderungen zusammen, die in weiteren Studien abgeklärt werden sollen.

In der PSD Studie wurde der Schlafbedarf einer mittelalten, erwachsenen Person von etwa 8h zugrunde gelegt.

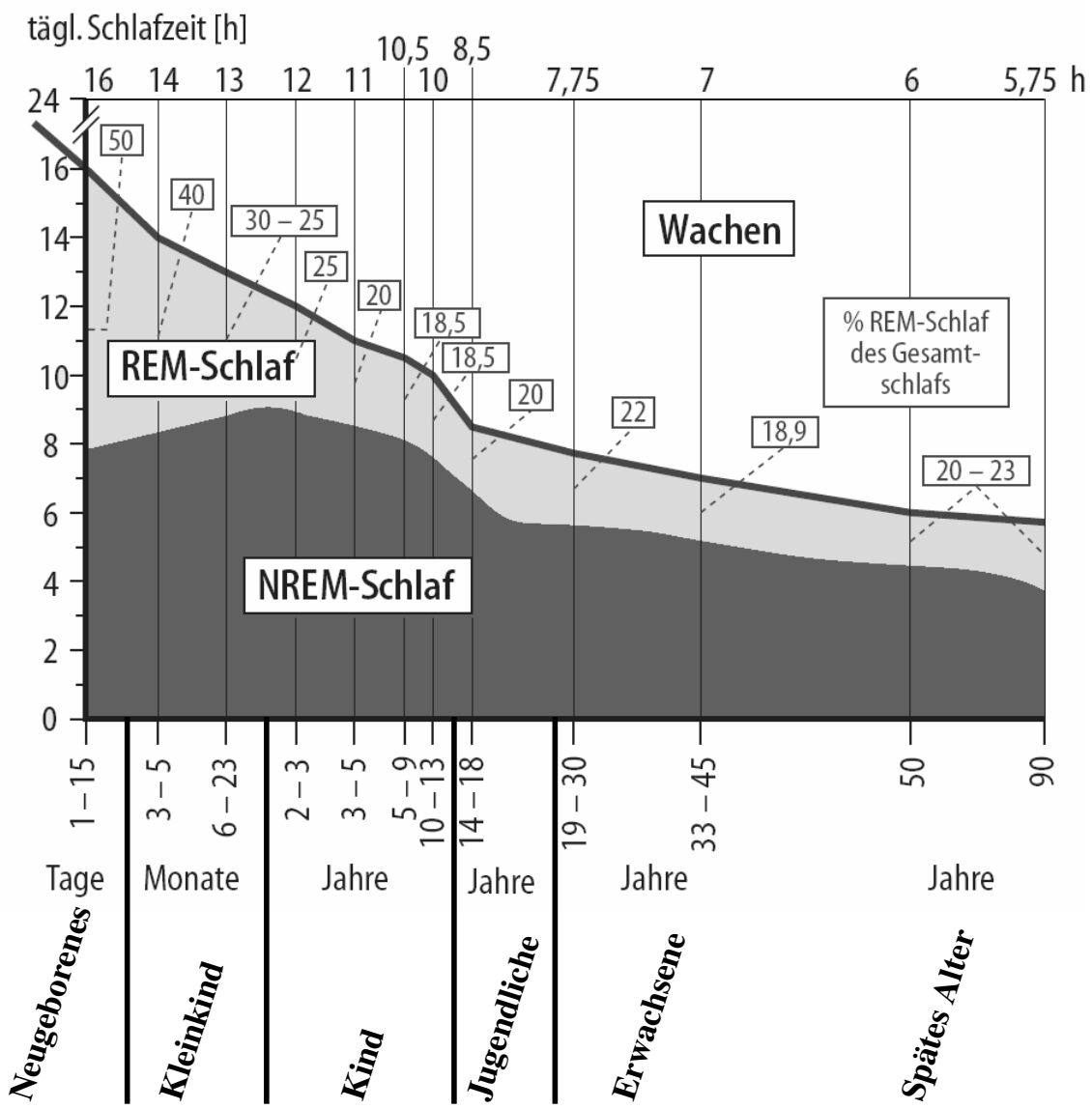


Abb. 2.1.: Altersverteilung und Schlafdauer modifiziert nach [Rühle, 2006]. Wach- und Schlafzeiten und der Anteil von REM- und NREM-Schlaf werden in Relation zum Lebensalter gesetzt. Die Daten wurden in erster Linie bei Umfrageergebnisse in einer repräsentativen Bevölkerungsgruppe ermittelt. Demnach verbringt ein Neugeborenes etwa 2/3 des Tages (12-17h) schlafend. Vorschulkinder bis zum 6.Lebensjahr benötigen in der Regel etwa die Hälfte des Tages (12h) zum Schlafen. Bei Zehn- bis Elfjährigen sinkt der Bedarf auf ungefähr 10h und beträgt bei 13-Jährigen im Mittel noch 9h. Mit Beginn der Pubertät sinkt die Schlafdauer weiter auf acht Stunden ab. Bei den 20 bis 40-Jährigen beträgt die Schlafdauer zwischen 7h und 8h. Im hohen Alter flacht die Schlafdauer unter 6h ab. Aber nicht nur die Schlaflänge weist eine Abhängigkeit vom Lebensalter auf, sondern auch der prozentuale Anteil des REM-Schlafs an der Gesamtschlafdauer. Beim Säugling ist nahezu die Hälfte des Schlafs der REM-Schlaf. Schon im Verlauf des ersten Lebensjahres verringert sich die REM-Schlafzeit überproportional, wogegen die Non-REM-Schlafzeit annähernd gleich bleibt. Im Erwachsenenalter beträgt der REM-Schlafanteil am Gesamtschlaf lediglich 19-23 %.

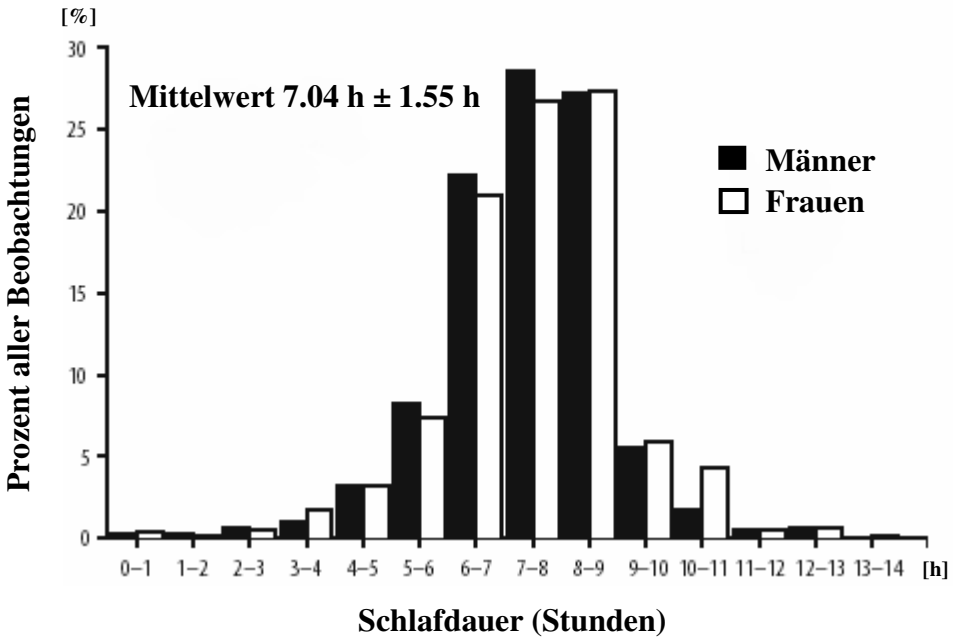


Abb. 2.2.: Ergebnisse einer Umfrage zur Schlafdauer von 2000 Personen in Großbritannien. Die Werte sind als Prozent aller Angaben (941 für die Männer und 1.056 für die Frauen) ausgedrückt. Die Altersgruppe der Befragten umfasst eine Spanne von 16 bis 93 Jahre. Der Mittelwert von 7,04 Stunden (Standardabweichung 1,55 h) stellt den Mittelwert über beide Geschlechter dar (Modifiziert nach [Groeger u. a., 2004]).

Zirkadiane Schlaf-Wach-Störungen

Aschoff u. a. [1967] haben Isolationsstudien durchgeführt, bei denen sich Freiwillige über längere Zeit in Bunkern abgeschirmt von allen äußern Zeitgebern aufhielten. Die Probanden entwickelten unter diesen Bedingungen eine „freilaufende“ Rhythmik der Körpertemperatur von etwa 25 Stunden. Da diese Rhythmik ungefähr einer Tagdauer entspricht, spricht man von einer „zirkadianen“ Periodik. Unter Laborbedingung konnte bei Blinden Versuchspersonen und bei Personen, die von Licht abgeschirmt wurden (weniger als 150 lux) eine freilaufende Rhythmik von 24.5 Stunden [Shanahan und Czeisler, 2000] nachgewiesen werden.

Aschoff gelang der Nachweis, dass der Schlaf überwiegend in bestimmten, von der zirkadianen Periodik vorgegebenen Zeiträumen stattfindet [Aschoff, 1967a], wobei der Gipfel der Schlafbereitschaft mit dem Zeitpunkt des zirkadianen Temperaturminimums [Aschoff, 1967b; Richardson, 2005] korreliert. Aber nicht nur die Aktivitäts- und Temperaturrhythmen sondern viele andere Funktionen weisen ebenfalls eine zirkadiane Rhythmik auf. In der natürlichen Umwelt wird die von der biologischen Uhr erzeugte ca. 24.5-Stunden-Periodik durch sog. Zeitgeber mit der äußeren 24-Stunden-Periodik synchronisiert. Durch diesen Vorgang der externen Synchronisation werden die inneren und äußeren Zeitprogramme aufeinander abgestimmt.

Als Schlafstörung bezeichnet man Abweichungen von dieser intern und auch extern synchronisierten Schlaf-Wach-Rhythmik. Diese können vorübergehend und nicht patho-

logisch sein. Sie können sich aber auch manifestieren und zu einem gesundheitlichen Problem werden.

Behandlungsbedürftige Schlafstörungen gehören in Deutschland mit mehr als 10% Betroffenen zu den weit verbreiteten Erkrankungen. Schlafstörungen können unmittelbar oder langfristig zu Leistungsminderungen, Unfällen, chronisch körperlichen und psychischen Erkrankungen führen [Rüther und Engfer, 1988]. Nach der derzeit gültigen zweiten Fassung des International Classification of Sleep Disorders (ICSD-2) sind weit über 80 verschiedene klinische Formen der Schlafstörungen beschrieben worden [ICSD, 2005]. Die ICSD-2 wurde 2005 von den internationalen Schlafforschungsgesellschaften veröffentlicht und ist erstmals der ICD-10 angepasst. Sie klassifiziert recht heterogene Krankheitsbilder. Man unterscheidet die Ein- und Durchschlafstörungen (Insomnie) von einer übermäßigen Tagesmüdigkeit (Hypersomnie). Daneben sind Schlafbezogene Atmungsstörungen (SBAS), Störungen des Schlaf-Wach- Rhythmus (Chronobiologische Störungen) und schlafgebundene Störungen (Parasomnie, Dyssomnien) als Einteilungskriterien bekannt.

Unter **Hyposomnie (Insomnie)** werden die Ein- und Durchschlafstörungen zusammengefasst, die zu einer Verkürzung der Gesamtschlafzeit führen. Sie machen den Großteil aller Schlafstörungen aus. *Pseudoinsomnien* sind Schlafstörungen, bei denen subjektiv eine Störung des Ein- und Durchschlafens berichtet wird, aber nach wiederholter polygraphischer Registrierung des Schlafes keine Auffälligkeiten des altersspezifischen Schlafsprofils vorliegt. Unter der *idiopathischen Insomnia* fasst man die Schlafstörungen zusammen, die keine organische Ursache aufweisen oder einer anderen der in der Tabelle genannten Störungen zuzuweisen sind. Die Personen berichten über schlechten oder zu kurzen Schlaf mit häufigem Erwachen. Beim *verzögerten Einschlafen (delayed sleep phase insomnia, DSPI)* gehen die Personen spät zu Bett und brauchen dabei länger als eine Stunde, um einzuschlafen. Das Schlafbedürfnis ist dann tagsüber erhöht. Sie haben sonst keine Abnormität in ihrem physiologischen Schlafprofil. Häufigste Ursache von *Drogen-Insomnien* ist der chronische Gebrauch von Schlafmitteln durch ärztliche Verschreibungen. Drogen- Insomnia ist die häufigste iatrogene (d.h. von Ärzten erzeugte) Schlafstörung. Bei allen psychophysiologischen Störungen treten auch Schlafstörungen und Störungen der zirkadianen Rhythmik auf. Diese Störungen fasst man unter dem Begriff *Insomnia bei Hyperaktivität und affektiven Störungen* zusammen. Vor allem die affektiven Störungen (mono-polare und bi-polare Depressionen) weisen eine ausgeprägte Irregularität auf.

Bei **schlafbezogenen Atmungsstörungen (SBAS)**, wie der sog. *Schlafapnoe*, treten während des Schlafes respiratorische Pausen von mehr als 15s Dauer assoziiert mit Weckreaktionen und/oder Sauerstoffdesaturationen im arteriellen Blut auf. In Konsequenz der sich wiederholenden Atmungsauffälligkeiten, die in schweren Fällen häufiger als einmal pro Minute auftreten können, wird eine reduzierte Erholungsfunktion des Schlafes und eine Sauerstoffunterversorgung des Organismus, insbesondere des zentralen Nerven-

1. Ein- und Durchschlafstörungen (Insomnien)
Pseudoinsomnia
Idiopathische Insomnia
Verzögertes Einschlafen („delayed sleep phase insomnia“, DSPI)
Drogen-Insomnia
Insomnia bei Hyperaktivität und affektiven Störungen

2. Schlafbezogene Atmungsstörungen (SBAS)
Zentrale Schlafapnoe-Syndrome
Obstruktive Schlafapnoe-Syndrome
Schlafbezogene Hypoventilations-/Hypoxämiesyndrome

3. Übermäßige Tagesmüdigkeit (Hypersomnien) ohne SBAS
Narkolepsie
Drogen-Hypersomnia
Hypersomnia bei Verhaltensstörungen

4. Zirkadiane Schlaf-Wach-Störungen
Zeitzonenüberschreitung („Jet-Lag“)
Schicht- und Nachtarbeit

5. Parasomnien
Somnanbulismus (Schlafwandeln)
Pavor nocturnus (Alpträume)
Enuresis nocturna (nächtliches Einnässen)

6. Schlafbezogene Bewegungsstörungen
Bruxismus nocturnus (nächtliches Zähneknirschen)
Restless leg syndrom (ruhelose Beine)

7. Isolierte Symptome, Normvarianten
Schnarchen
Sprechen im Schlaf
Einschlafzuckungen

8. Andere Schlafstörungen
Andere physiologische (organische) Schlafstörungen
Andere Schlafstörungen, ohne Drogenmissbrauchs
oder einer bekannten physiologischen Erkrankung
Umweltbedingte Schlafstörung

Tabelle 2.1.: Primäre Schlafstörungen. Die zur Zeit gültige ICSD-2 wurde 2005 von den internationalen Schlafforschungsgesellschaften veröffentlicht und ist erstmals der ICD-10 angepasst. Sie klassifiziert recht heterogene Krankheitsbilder. Ein- und Durchschlafstörungen (Insomnie) werden von einer übermäßigen Tagesmüdigkeit (Hypersomnie) abgegrenzt. Daneben sind Schlafbezogene Atmungsstörungen (SBAS), Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus (Chronobiologische Störungen) und schlafgebundene Störungen (Parasomnie, Dyssomnien) als Einteilungskriterien bekannt. Im Rahmen dieser Dissertation werden zirkadiane Schlaf-Wach-Störungen, die typischerweise bei Schicht- und Nachtarbeit auftreten können, betrachtet.

systems (ZNS), während des Schlafes beobachtet. Diese Störung (oft bei Personen mit Schnarchen) ist nicht nur mit häufigem Erwachen und Tagesmüdigkeit, sondern auch mit erhöhtem Risiko für plötzlichen Tod und kardio-vaskulären Leiden verbunden. Obwohl bei Personen mit Obstruktion der Luftröhre (z.B. bei Übergewichtigen, die auf dem Rücken liegen und bei Rauchern) häufiger, tritt Schlafapnoe in allen Altersstufen auf.

Die **Hypersomnien ohne SBAS** zeichnen sich im Wesentlichen durch eine gesteigerte Schläfrigkeit während des Tages aus. Eine Untergruppe stellen die *Narkolepsien* dar. Häufige Schlafattacken während des Tages, die mit oder ohne Muskelrelaxation, bis zu plötzlichem Tonusverlust und Hinstürzen des Betroffenen (Kataplexie) verbunden sind und von wenigen Sekunden bis zu 30 Minuten dauern können, kennzeichnen dieses Krankheitsbild. Personen mit Narkolepsie weisen oft mehrere solcher Perioden pro Tag auf und leiden an exzessiver Müdigkeit. Bei den Drogen-Hypersomnien und Hypersomnien bei Verhaltensstörungen finden sich weitgehend gleiche äthiologische Zuordnungen wie bei den entsprechenden Insomnien.

Zu den **zirkadianen Schlaf-Wach-Störungen** zählen solche, die z.B. bei häufigem Schichtwechsel oder nach Interkontinentalflügen und den damit verbundenen Zeitverschiebungen auftreten können. Die Störungen bei Schichtdiensten – und ihr Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der davon Betroffenen– ist Gegenstand des nachfolgenden Abschnitts.

Bei **Parasomnien** handelt es sich um unerwünschte Ereignisse, die im Zusammenhang mit Schlaf auftreten. Sie können während des Erwachens aus dem Schlaf (Arousal-Störungen), während des REM-Schlafes (REM- Schlaf-abhängige Parasomnien) oder unspezifisch während des Schlafes auftreten (andere Parasomnien). Die Betroffenen zeigen abnormale und bizarre Bewegungen oder Verhaltensweisen. Bekanntestes Beispiel ist das Schlafwandeln (Somnambulismus). Beim Schlafwandeln ist die sensomotorische Koordination dabei z.T. intakt, die Augen weit geöffnet, aber es besteht keine Erinnerung an die Episoden. Die Genese dieser Störungen ist weitgehend unklar. Auch der Alptraum (Pavor nocturnus) gehört zu den Parasomnien. Er geht mit Emotionen, Wahrnehmungen, Träumen während des Schlafes einher.

Unter den **Schlafbezogene Bewegungsstörungen** fasst man anfallsartige, episodische Erscheinungen zusammen wie das Restless leg syndrom (ruhelose Beine) und auch andere Dysfunktionen (Zähneknirschen), die eine geringere Inzidenz besitzen.

Weitere Schlafstörungen sind durch **isolierte Symptome oder Normvarianten** gekennzeichnet.

Schlafstörungen bei Schicht- und Nachtarbeit

Schlafstörung nach Schicht- und Nachtarbeit zählen zu den zirkadianen Schlaf-Wach-Störungen. Beschäftigte in Schichtarbeit arbeiten zu wechselnden Tageszeiten (Früh-, Spät- und Nachtschicht) oder zu konstanter ungewöhnlicher Zeit (Dauernachtschicht). Der Anteil der Schichtarbeiter an der Zahl der Beschäftigten in Deutschland beträgt nach

einer nach einer Studie, die im Auftrag des Ministerium für Arbeit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen im Jahr 2001 durchgeführt wurde, über 18% [Bauer u. a., 2002]. Dieser Anteil ist in den meisten Branchen steigend. Studien belegen, dass in der Nachtschicht Beschäftigte ein höheres Risiko für gastrointestinale [Knutsson, 2003] und cardiovasculäre Erkrankungen [Åkerstedt und Knutsson, 1997; Brown u. a., 2009; Kawachi u. a., 1995] sowie Krebserkrankungen [Schernhammer u. a., 2001, 2003] zeigen.
Åkerstedt [1998] hat Schichtarbeiter über die gesundheitlichen, sozialen und psychischen Auswirkungen der Nacht- und Schichtarbeit befragt und kam zum Ergebnis, dass hier durchaus eine vergleichbare Situation wie bei Patienten mit Schlafstörungen vorliegt. Er hat auch früh auf die Gefahren, wie übermüdungsbedingte Fehlhandlungen bis hin zu Unfällen mit gesundheitlichen und wirtschaftlichen Folgen hingewiesen [Åkerstedt, 1987, 1995a,b; Åkerstedt u. a., 2004]. Bei einer Befragung von 282 Arbeitern im Schichtdienst gaben etwa 51% eine erhöhte Tagesmüdigkeit mit kompensatorischen, kurzen Schlafepisoden an [Åkerstedt und Torsvall, 1985].

Verkürzte Schlafdauer und Leistungsfähigkeit

Im Alltag ist eine partielle Schlafdeprivation wesentlich häufiger als totaler Schlafentzug. Dennoch finden sich weitaus mehr Studien zu Auswirkungen eines kompletten als partiellen Schlafentzuges [Alhola und Polo-Kantola, 2007]. Bei einer experimentalen Verkürzung der Schlafdauer auf 4h konnten unter Laborbedingungen deutliche Leistungseinbussen und eine Erhöhung der Tagesmüdigkeit nachgewiesen werden [Åkerstedt und Gillberg, 1979; Hamilton u. a., 1972; Tilley und Wilkinson, 1984; Wilkinson, 1968]. Eine Schlafdeprivation im Bereich von 4.5h bis 6.5h Schlafdauer pro Nacht führte zu unterschiedlichen Ergebnissen. Einige Untersucher fanden eine Abnahme der Leistungsfähigkeit bereits nach einer Nacht mit verkürzter Schlafdauer [Taub und Berger, 1973; Webb und Agnew, 1965], andere konnten selbst bei längeren Schlafdeprivationsstudien keine Einschränkungen nachweisen [Blagrove u. a., 1994; Friedmann u. a., 1977]. Ein Grund für diese unterschiedlichen Ergebnisse bei einer Schlafdeprivation auf 4,5h bis 6,5h liegt möglicherweise darin, dass die Probanden nicht ausreichend mit den Leistungstests vertraut waren. Während der Studie könnten in so einem Fall erhebliche Verbesserungen durch Lerneffekte Leistungseinbussen durch Einfluss der Stressoren maskieren [Friedmann u. a., 1977; Hamilton u. a., 1972]. Solche Leistungseinbussen sind mit den zur Verfügung stehenden Instrumenten dann nicht nachweisbar [Dinges u. a., 1997]. Unter der Voraussetzung einer ausreichenden Lernphase der Probanden konnten Dinges u. a. [1997] eine erhebliche Beeinträchtigung der psychomotorischen Vigilanz nach einem Zeitraum von 7 Tagen mit eingeschränkter Schlafdauer von 5h feststellen. In dieser Studie fand sich eine Verringerung der Reaktionszeit von 5% bis 8% bei Aufgabenstellungen, die eine schnelle Reaktion erforderten [Dinges u. a., 1997]. Eine Metaanalyse von Pilcher und Huffcutt [1996] mit einer Auswertung von 19 Studien mit experimenteller Schlafverkür-

zung kommt zum Ergebnis, dass sowohl eine partielle als auch komplette Schlafdeprivation die Leistungsfähigkeit und Stimmung der Probanden beeinträchtigt.

2.1.2. Alkohol

Alkohol übertrifft in seiner Bedeutung für die Gesundheit der Bevölkerung die anderen exogenen Noxen bei weitem. 80% aller Leberschädigungen in westlichen Ländern sind Folge exzessiven Alkoholkonsums. Alkoholunfälle im Straßenverkehr sind Unfälle, bei denen mindestens einer der Beteiligten (Autofahrer, Radfahrer, Fußgänger...) alkoholisiert war. Dabei wird von der Polizei ein Alkoholeinfluss ab einer Blutalkoholkonzentration (BAK) von 0,3 Promille angenommen. Ab dieser Menge lässt sich schon eine Beeinflussung der Leistungsfähigkeit nachweisen [Dawson und Reid, 1997a,b]. Die Blutalkoholkonzentration (BAK) ist definiert als die Masse Alkohol Masse Blut. Sie wird üblicherweise in Promille [‰] gemessen und entspricht der Ethanolmenge in Gramm je Liter Blut. In den Lungenbläschen (Alveolen) findet ein Übergang des Alkohols aus dem arteriellen Blutkreislauf in die eingeatmete Luft statt. Beim Ausatmen wird dann Alkohol abgegeben und als Atemalkoholkonzentration (AAK) bestimmt. Als Maßeinheit dient die Alkoholmenge in Milligramm pro Liter Atemluft (mg/l).

Der Alkoholstoffwechsel des Menschen erfolgt in drei Phasen von unterschiedlicher Dauer: Aufnahme des Alkohols (Resorption), Verteilung im Körper (Distribution) und Alkoholabbau (Elimination) [Singer und Teyssen, 2005]. Die Resorption des Alkohols erfolgt im gesamten Verdauungstrakt. Dies beginnt in geringem Umfang bereits in der Mundschleimhaut. Der dort aufgenommene Alkohol geht direkt in das Blut über und wird per Blutstrom und Diffusion im gesamten Körper einschließlich des Gehirns verteilt. Im Magen werden anschließend etwa 20 % des aufgenommenen Alkohols resorbiert. Der größte Anteil, ca. 80 %, wird im oberen Dünndarm resorbiert. Der im Darm aufgenommene Alkohol gelangt zunächst mit dem Blut in die Leber, wo er teilweise abgebaut wird. Nach 30 bis 60 min ist der Alkohol vollständig resorbiert und der höchste Blutalkoholspiegel erreicht. Nach 60 bis 90 min ist die Distribution abgeschlossen. Die Geschwindigkeit der Alkoholaufnahme kann jedoch durch Faktoren, die die Durchblutung steigern - z.B. hohe Temperaturen - erhöht werden. Eine Nahrungsaufnahme, insbesondere fettreiche Kost verlangsamt dagegen die Resorption. Dies führt aber nicht zu einer niedrigeren Resorption des Alkohols insgesamt, sondern nur zu einer zeitlichen Streckung. Von der Rechtsprechung wird daher eine Resorptions- bzw. Distributionszeit von 120 min angesetzt.

Die Elimination des Alkohols verläuft wesentlich langsamer. Der Abbau erfolgt hauptsächlich in der Leber, die bei erheblich gesteigertem, regelmäßigem Konsum ihre Abbauaktivität in geringem Maße anpassen kann. Lediglich 3% werden über die Lunge, 1-2% über die Nieren ausgeschieden. In der Leber wird der Alkohol durch das Enzym Alkoholdehydrogenase (ADH) zu Ethanal (Acetaldehyd) umgewandelt, um weiter durch Acetaldehyddehydrogenase zu Essigsäure (Acetat) oxidiert zu werden. Acetat kann schließlich

über die Atmungskette unter Energiegewinnung zu Kohlendioxid und Wasser veratmet werden oder im Citratzyklus zum Aufbau von Fettsäuren dienen. Das Zwischenprodukt Ethanal ist auch für den so genannten Kater mitverantwortlich.

Der enzymatische Abbau durch die Alkoholdehydrogenase ist innerhalb gewisser Grenzen konstant. Da die Abbaurate und die Resorptionszeit nur wenig variieren, kann der Alkoholgehalt in Abhängigkeit von der Zeit abgeleitet werden. Die Abbaurate beträgt mindestens 1 g Alkohol je 10 kg Körpergewicht und Stunde (0,1 Promille/h). Auch variieren die Abbauzeiten von Männern und Frauen nur geringfügig. Für Frauen gleicher Konstitution liegen sie ca. 15% niedriger. Die Abbildung 2.3 zeigt die Konzentrations-Zeitkurve von Blutalkohol bei einer 88kg schweren, gesunden, männlichen Person (Widmark-Kurve) nach Trinken von 0,25l eines 40% Obstbranntweins (79g Ethanol) innerhalb von 1h am Morgen und auf leeren Magen. Nach der sog. Widmark-Formel (siehe Gleichung 2.1) kann die theoretisch maximal erreichbare Alkoholkonzentration im Blut in Abhängigkeit von der getrunkenen Menge des Alkohols (Angabe als Masse) und der Körpermasse der Person berechnet werden. Dabei werden nach Geschlecht unterschiedliche Verteilungsfaktoren (0,7 für Männer, 0,6 für Frauen) verwendet.

$$c = \frac{A}{m \cdot r} \tag{2.1}$$

dabei gilt:

c	die Alkoholkonzentration im Blut
A	die aufgenommene Masse des Alkohols in Gramm (g)
r	Verteilungsfaktor im Körper (0,7 für Männer, 0,6 für Frauen)
m	die Masse der Person in Gramm (g)

Die Berechnung nach Widmark hat sich in zahllosen Untersuchungsergebnissen und unter Berücksichtigung modellbedingter Einflussgrößen wie dem sog. Resorptionsdefizit in der forensischen Praxis bewährt und ist Grundlage für Alkoholberechnungen. Dabei wird auch der enzymatische Abbau während der Elimination entsprechend der Michaelis-Menten Beziehung berücksichtigt. In der Abbildung 2.3 entspricht der Widmark-Parameter β_{60} dem stündlichen Abfallwert der peripheren Blutalkoholkonzentration für den quasi rektilinearen Abfall bei Sättigung der Enzymsysteme. Sie wird aus der Regressionsgeraden zwischen einer Stunde nach Trinkende bis zum Beginn der exponentiellen Elimination ermittelt und ist innerhalb des in der Literatur angegebenen Bereiches von 0,1 bis 0,15 ‰/h [Jachau u. a., 2000; Köhler u. a., 1997, 2000; Singer und Teyssen, 2005].

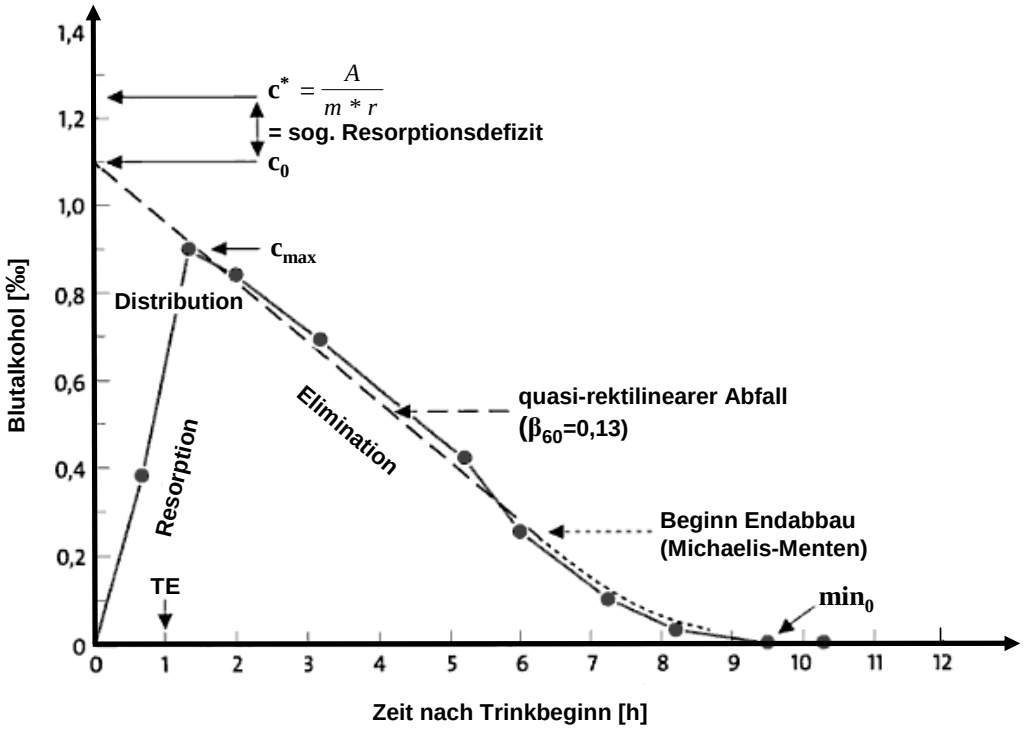


Abb. 2.3.: Konzentrations-Zeitkurve von Blutalkohol bei einer 88kg schweren, gesunden, männlichen Person (Widmark-Kurve) nach Trinken von 0,25l eines 40% Obstbranntweins (79g Ethanol) innerhalb von 1h am Morgen und auf leeren Magen. Zum Zeitpunkt TE ist das Trinken beendet. c^* ist der Wert (1,25‰) , der nach der Widmark-Formel aus der Aufnahmemenge unter der Annahme einer vollständigen und nichtverzögerten Absorption und Verteilung errechnet wird. Nach etwa 9h ist der Alkohol aus dem Blut eliminiert (min_0). Im Versuch wird ein geringerer Wert c_0 (1,10‰) erreicht, der sich als Schnittpunkt mit der y-Achse des nach Retropolation des im Versuch ermittelten linearen Abfalls errechnet. Die Differenz von 0,15‰ entspricht dem Resorptionsdefizit. c_{max} ist der tatsächlich erreichte Maximalwert. Ab einer BAK von etwa 0,25‰ beginnt die exponentielle Elimination nach der Michaelis-Menten-Kinetik. Modifiziert nach [Madea u. a., 2007].

Blut- und Atemalkoholkonzentration

In einer 1997 veröffentlichten AAK-BAK-Vergleichsuntersuchung fanden Köhler u. a. [1997] einen BAK/AKK-Quotienten von 2,03. In dieser Studie wurden 8 Trinkversuche mit je 5-6 Probanden durchgeführt. Diese durften innerhalb von zwei Stunden soviel Alkohol konsumieren, wie gewünscht. 25 Minuten nach Trinkende wurden die ersten AAK- und BAK-Messungen durchgeführt, die weiteren Messungen erfolgten je 50, 75, 100, 125 und 150 Minuten nach Trinkende, so dass bei jeder Testperson insgesamt 6 Messungen vorlagen. Die BAK/AAK-Quotienten wurden so zu unterschiedlichen Trinkphasenabschnitten bestimmt.

Ein noch höherer mittlerer BAK/AAK-Quotient von 2,311 wurde von Köhler u. a. [2000] in einer Massenstudie aus 341 zeitgleichen BAK/AAK Wertepaaren ermittelt. Dabei waren Art und Menge der alkoholischen Getränke frei wählbar. Die Messungen fanden 15 bis 85 Minuten nach Trinkende statt, also sowohl in der Resorptionsphase als auch in der Postresorptionsphase. Eine andere Studie wurde von Jachau u. a. [2000] durchgeführt.

Die Überprüfung von 455 zeitgleichen Wertepaaren ergab dabei einen Mittelwert von 2,2. Der Maximalwert lag bei 3,29 und der Minimalwert bei 0,74.

Grubwieser u. a. [2002] haben in 32 Trinkversuchen bei 139 Probanden 30 min nach Trinkende zeitgleich AAK und BAK bestimmt. Die AAK-Werte lagen zwischen 0,05 und 0,78 mg/l Ausatemluft, die BAK-Werte zwischen 0,14 und 1,72‰ (g/l). Die daraus errechneten Konversionsfaktoren lagen zwischen minimal 1.380 und maximal 2.720 bei einem Mittelwert von 2.062. Diese Forschergruppe gibt an, dass falls nur AAK-Werte vorliegen, für die Umrechnung von AAK in BAK bei einer angebenden statistischen Wahrscheinlichkeit von 95% ein minimaler Konversionsfaktor von 1.631 und ein maximaler Konversionsfaktor von 2.493 verwendet werden soll.

Diese Studien zeigen, dass eine direkte Umrechnung von AAK in BAK nicht exakt möglich ist, da sich das Verhältnis zeitlich verändert. Als Konsequenz existieren in der Rechtsmedizin zwei separate Grenzwerte, die juristisch gleichgesetzt sind und auf einem mittleren Verteilungsfaktor von 1:2000 beruhen. Diese Grenzwerte sind 0,5 mg/g BAK bzw. 0,25 mg/l AAK.

Durch Änderung des § 24a StVG wurde mit Wirkung vom 1. Mai 1998 erstmals die AAK als Beweismittel im Ordnungswidrigkeitsbereich zur Feststellung einer alkoholbedingten Beeinträchtigung der Fahrtauglichkeit zugelassen und konnte somit unmittelbar forensisch genutzt werden.

Diese Gesetzesänderung wurde durch den Beschluss des BGH vom 3. April 2001 bestätigt: „Bei der Bestimmung der Atemalkoholkonzentration im Sinne § 24a Abs.1 StVG unter Verwendung eines Atemalkoholmessgerätes, das die Bauartzulassung für die amtliche Überwachung des Straßenverkehrs erhalten hat, ist der gewonnene Mittelwert ohne Sicherheitsabschläge verwendbar, wenn das Gerät unter Einhaltung der Eichfrist geeicht ist und die Bedingungen für ein gültiges Messverfahren gewahrt sind.“ In der PSD Studie wurde unter Verwendung eines Atemalkoholmessgerätes die AAK gemessen und daraus die BAK berechnet.

Alkohol und Leistungsfähigkeit

Es gibt grundsätzlich keine Alkoholdosis, bei der nicht in irgendeinem Bereich eine Leistungsbeeinträchtigung unter der Voraussetzung geeigneter Methoden nachweisbar ist [Elbel, 1961]. Fast alle Testverfahren registrieren, was innerhalb einer gestellten Aufgabe noch oder überhaupt geleistet werden kann. Schwierig ist es, Testaufgaben zu finden, die eine Gesamtleistung abfragen [Gerchow, 1968]. Bartl u. a. [1996] hat in einem Versuch die Fahrtüchtigkeit von 34 männlichen Probanden unter Einfluss von geringer Alkoholdosis getestet. Sie konnten eine signifikante Zunahme der Fehlerquote nachweisen. So fanden Sie eine dreifach erhöhte Fehlerquote bei Aufgaben zur Konzentrationsfähigkeit und eine zweifach erhöhte Fehlerquote bei Aufgaben zur Reaktionsfähigkeit. Auffallend häufig zeigten die Probanden unter Einfluss des Alkohols eine Bereitschaft, die eigene Leistungsfähigkeit zu überschätzen. Das subjektive Leistungsgefühl, das anhand

von Fragebögen evaluiert wurde, war im Verhältnis zum objektiven Leistungsvermögen gesteigert, insbesondere bei vermeintlich einfachen Aufgabenstellungen. Hinzu kam, dass die Auffassung und geistige Verarbeitung von Sinneseindrücken beeinträchtigt waren bei Steigerung des Bewegungsdrangs, und einer erhöhten Wagnisbereitschaft. Dabei waren die Probanden häufig nicht in der Lage, ihre Aufmerksamkeit über längere Zeit auf einen Vorgang zu konzentrieren (Tenazität) und gleichzeitig in kurzer Folge sich anderen Vorgängen zuzuwenden (Vigilität), was sich insbesondere auf Aufgaben mit Mehrfachtätigkeit ausgewirkt hat. Krull u. a. [1992] haben bei einem Kollektiv von 54 männlichen Probanden den Einfluss von Alkohol und Schlafdeprivation auf die Leistungsfähigkeit untersucht. Die Leistungsfähigkeit wurde anhand der Reaktionszeiten bei verschiedenen Testaufgaben bewertet, eingeteilt in eine hohe oder niedrige Beanspruchung mit Variation der Reizintensität, der Reizqualität und der Reizantwort. Die Probanden wurden unter 3 verschiedenen Stufen der Alkoholeinwirkung (BAK von 0‰, 0.7‰ und 1.0‰) sowie 2 Stufen der Schlafverkürzung (0h oder 24h Schlafentzug) getestet. Die Autoren konnten nachweisen, dass Testaufgaben mit einer hohen Beanspruchung schon ohne Einfluss von Stressoren (Baseline) zu verlängerten Reaktionszeiten führen. Probanden unter Alkoholeinfluss zeigten eine signifikante Verlängerung der Reaktionszeiten sowohl unter hoher als auch niedriger Beanspruchung, die mit dem Grad der BAC korrelierte. Unter Schlafdeprivation von 24h konnte ebenfalls eine signifikante Verlängerung der Reaktionszeiten festgehalten werden, die insbesondere in Kombination mit Alkoholeinfluss zunahm. In einer weiteren Studie wurde von Krull u. a. [1993] abermals ein Kollektiv von 54 männlichen Probanden unter Schlafentzug (0h oder 30h Schlafentzug) und verschiedenen Stufen der Alkoholeinwirkung (BAK von 0‰, 0.5‰ und 0.8‰) auf die Leistungsfähigkeit untersucht. Zusätzlich wurden Visuell Evozierte Potenziale (VEP) abgeleitet. Auch in dieser Studie konnte eine signifikante Verlängerung der Reaktionszeiten unter Alkoholeinfluss und Schlafentzug nachgewiesen werden. In Bezug auf die VEP zeigte sich unter Schlafentzug eine Zunahme der Latenz der 150ms negativen Komponente (N1). Alkohol allein erhöhte die Latenz der 250ms negativen Komponente (N2). Außerdem bestand eine positive Korrelation der N2 Latenz mit Verlängerung der Reaktionszeiten. Die Autoren werten diese Ergebnisse als Indiz dafür, dass eine Schlafdeprivation die initiale Reizdetektion verlangsamt, wogegen Alkohol die nachgeschalteten Verarbeitungs- und Reaktionsschritte beeinflusst.

2.1.3. Hypoxie

Hypoxie (Sauerstoffmangel) ist ein Stressor, der insbesondere in der Luftfahrt sowie bei Höhenaufenthalten von Bedeutung ist. Der Sauerstoffpartialdruck nimmt mit steigender Höhe ab. Eine Flughöhe von 10000m bis 11000m entspricht einem Sauerstoffvolumenanteil von 4% bis 5% am Boden. Eine kritische Situation tritt somit dann ein, wenn der Kabinendruck eines Flugzeuges aufgrund eines Defektes auf den äußeren Umgebungsdruck absinkt. Dieser Abfall führt beim Menschen zu einer arteriellen Hypoxie, einem

herabgesetzten Sauerstoffpartialdruck im arteriellem Blut (PaO_2). Der Normalwert liegt bei ca. 95 mmHg.

Im weiteren Sinne versteht man unter Hypoxie einen verminderten Sauerstoffpartialdruck im Blut (arteriell oder venös), in den Organen, Geweben und Zellen. Von Hypoxie spricht man dann bei einem PaO_2 von weniger als 60 mmHg.

Die Sauerstoffsättigung (Oxygenation) gibt den prozentualen Anteil des mit Sauerstoff beladenen Hämoglobins (Oxyhämoglobin) zur Gesamthämoglobinmenge wieder. Der Normalwert der arteriellen Sauerstoffsättigung (SaO_2) liegt bei 96%. Der Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffpartialdruck und der Sauerstoffsättigung wird durch eine sigmoide Sauerstoffbindungskurve dargestellt. Eine Hypoxie liegt demnach bei einem PaO_2 von weniger als 60 mmHg bzw. einer SaO_2 von weniger als 90% vor. Eine fortschreitende Hypoxie führt zur Zyanose und bewirkt beim Menschen Unruhe, Agitiertheit, Verwirrtheit, die bis zur Somnolenz (Bewusstseinsstörung) und zum Koma führen kann.

Hypoxie und Leistungsfähigkeit

Die Leistungsfähigkeit bei mäßiger Belastung durch Hypoxie (> 14% O_2), entweder als hypobare oder normobare Hypoxie angewandt, wurde in zahlreichen Experimenten getestet [Crowley u. a., 1992; Denison u. a., 1966; Gustafsson u. a., 1997; Paul und Fraser, 1994]. Die Ergebnisse dieser Studien zeigten oft widersprüchliche Resultate. Eine Gruppe von Forschern fand schon Leistungseinbussen nach einer Exposition von 17-18% O_2 [Crowley u. a., 1992; Denison u. a., 1966], andere dagegen konnten keine Veränderung in der Leistung selbst bei O_2 von weniger als 14% feststellen. Hypoxie-Werte unter 12% O_2 führten in Studien durchweg zu einer Beeinträchtigung der Leistung bei kognitiven oder motorischen Aufgabenstellungen [Macintosh u. a., 1988; Shepard, 1956].

2.2. Testverfahren

Die Anwendung psychologischer Messverfahren zur Bewertung der mentalen Beanspruchung von Operateuren in Mensch-Maschine-Systemen unterliegt noch erheblichen Einschränkungen. So ist festzustellen, dass der Vergleich von Ergebnissen unterschiedlicher Forschergruppen erschwert bis nicht möglich ist, da verschiedene Messverfahren verwendet und statistische Analysen auf sehr unterschiedlichen Wegen durchgeführt werden. Auch ist fraglich, welche Messverfahren für welche Art von Aufgaben geeignet sind.

Die Wahl geeigneter Testverfahren ist somit ein zentraler Bestandteil bei der Planung von Testaufgaben, die verschiedene Bewegungsabläufe und Denkprozesse abdecken sollen. Daneben werden Fragebögen zur subjektiven Einschätzung der Belastung verwendet. Um eine Vergleichbarkeit von Daten verschiedener Forschungsgruppen zu ermöglichen, wird eine hinreichend dokumentierte Spezifikation benötigt. Sie dient als Leitfaden, um unter definierten Versuchsbedingungen Messdaten zu erhalten. Kriterien für den Einschluss bestimmter Testverfahren in diesen Leitfaden, ist ihre inhaltliche Eignung, ferner die allgemein gültigen Gütemerkmale wie Reliabilität, Validität und Sensitivität.

Nachfolgend wird ein kurzer historischer Überblick von den Anfängen der psychometrischen Verfahren bis zur Formulierung eines Standards, der AGARD-STRES-Battery, aufgezeigt.

2.2.1. Psychometrische Verfahren

Psychometrische Verfahren, wie das Messen der Anwortzeiten auf einen Reiz werden für die Quantifizierung der Reizverarbeitung eingesetzt. Schon Anfang des 19. Jahrhunderts wurden die ersten wissenschaftlichen Versuche zur Reizverarbeitung durchgeführt [Wetherell, 1996]. Der deutsche Physiologe Johannes Müller, Begründer der *Theorie der spezifischen Nervenenergie*, postulierte im Jahr 1825, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenimpulse zu schnell sei, als dass sie jemals gemessen werden könne. Er setzte die Geschwindigkeit der Reizverarbeitung gleich der Lichtgeschwindigkeit und nahm an, dass ein visueller Reiz sofort verarbeitet wird und zu einem Erleben führt. Sein Schüler Hermann Helmholtz konnte jedoch 1850 mit einem Verfahren zur Messung der Nervenleitgeschwindigkeit diese Meinung widerlegen [Helmholtz, 1850]. In seinen Experimenten reizte er Muskelnerven am Oberschenkel von Fröschen und bestimmte die Zeit bis zur Muskelkontraktion. Dies wiederholte er an unterschiedlichen Reizorten der Nervenbahn. Aus der Differenz der Kontraktionszeiten konnte die Nervenleitgeschwindigkeit schließlich errechnet werden. Auf der Grundlage der Arbeiten von Helmholtz hat der holländische Physiologe Donders die Theorie der Subtraktionsmethode [Donders, 1869] aufgestellt. Mentale Verarbeitungsprozesse werden in kleinere Einheiten zerlegt („theory of stages“). Reaktionszeiten ergeben sich dann als Summe der Zeiten, die für die einzelnen Schritte benötigt werden (Abb. 2.4). Nach seiner Vorstellung hat das Hinzufügen oder Entfernen eines einzelnen diskreten Verarbeitungsschrittes („processing stage“) kei-

ne Auswirkungen auf die anderen Schritte („assumption of pure insertion“). In der klassischen Versuchsanordnung von Donders werden einem Probanden drei Aufgabentypen präsentiert.

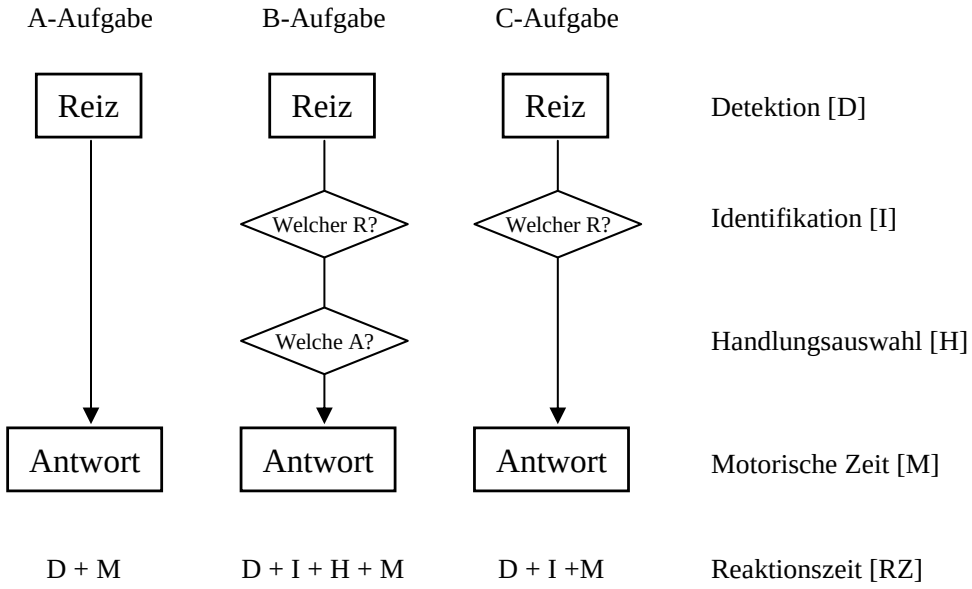


Abb. 2.4.: Theorie der Subtraktionsmethode. In den drei Aufgabentypen nach Donders werden Einfach- und Wahlreaktionszeitaufgaben gestellt. Variiert werden der Reiz (R) und mögliche Antworten (A).

- Die erste ist eine Einfachreaktionszeitaufgabe (A). Der Proband soll dabei auf jeden Reiz mit der gleichen Reaktion antworten.
- Im zweiten Aufgabentyp, der Wahlreaktionszeitaufgabe (B) werden zwei oder mehr Reiztypen mit zwei oder mehr entsprechenden Reaktionen beantwortet.
- Im dritten und letzten Aufgabentyp (C) wird ebenfalls eine Unterscheidung zwischen zwei oder mehr unterschiedlichen Reizen verlangt. Der Proband reagiert im Gegensatz zur Wahlreaktionszeitaufgabe jetzt nur auf einen Reiztyp und alle anderen werden ignoriert. Dieser Aufgabentyp wird als Diskriminationsaufgabe bezeichnet. In der Literatur sind auch die Begriffe „ disjunktiver“ und „go/no-go“ Aufgabentyp üblich.

Donders unternahm zahlreiche Versuche mit unterschiedlichen visuellen oder akustischen Reizen. Sein Ziel war es, unter konstanter Beibehaltung aller anderen Teilprozesse die ihn interessierenden Prozesse herauszuselektieren. Ein Beispiel für einen seiner Versuche ist die akustische Darbietung eines Vokals („Selbstlaut“), die von dem Proband nachgesprochen werden soll. Zur Aufzeichnung der Reaktion nutzte er ein eigens entwickeltes Analyseinstrument, den sog. Phonautographen.

Einfach-Reaktionszeitaufgabe (A-Aufgabe): Die Probanden werden angewiesen einen einzigen vorgesprochenen Vokal (z.B. „A“) so schnell wie möglich nachzusprechen. Der Versuchsleiter misst die Zeit zwischen der Darbietung und dem Nachsprechen des Vokals.

Die gemessene Reaktionszeit besteht nach Donders aus der Zeit für das Entdecken des Reizes und der motorisch benötigten Zeit:

1. Entdeckung des Reizes (Detektion) [D]
2. Zeit, die für die Vokalbildung benötigt wird (Motorische Zeit) [M]

Wahl-Reaktionszeitaufgabe (B-Aufgabe): Die Probanden werden angewiesen unterschiedliche Vokale (z.B. „A“ und „ O“) so schnell wie möglich nachzusprechen. Donders unterteilt die gemessene Reaktionszeit entsprechend den Anforderungen in folgende Prozesse:

1. Entdeckung des Reizes (Detektion) [D]
2. Identifikation des Reizes als Vokal „A“ oder „O“ (Identifikation) [I]
3. Entscheidung welcher Vokal ausgesprochen werden muss (Handlungsauswahl) [H]
4. Zeit, die für die Vokalbildung benötigt wird (Motorische Zeit) [M]

Diskriminationsaufgabe (C-Aufgabe): Die Probanden werden angewiesen, nur auf einen der Vokale mit dem Nachsprechen zu reagieren. Nach Donders entfällt somit die Handlungsauswahl, so dass allein das Entdecken, die Identifikation und die motorische Ausführung die Summanden der benötigten Zeit darstellen:

1. Entdeckung des Reizes (Detektion) [D]
2. Identifikation des Reizes als Vokal „A“ oder „O“ (Identifikation) [I]
3. Zeit, die für die Vokalbildung benötigt wird (Motorische Zeit) [M]

Der Versuchsleiter erhält aus den drei unterschiedlichen Aufgaben somit drei mathematische Gleichungen. Nehmen wir als Zahlenbeispiel für den Aufgabentyp A: RT = D + M = 200 ms; für B: RT = D + I + H + M = 290 ms und für C: RT = D + I + M = 240 ms an. Aus diesen Gleichungen wird für die Identifikationszeit I = C - A = 240 - 200 = 40 ms und für die Handlungsauswahl H = B - C = 290 - 240 = 50 ms berechnet. Unter der Prämisse der diskreten Verarbeitungsschritte ist es so möglich, die Zeiten für die einzelnen Prozesse der Signalverarbeitung – von der Reizaufnahme bis zur motorischen Antwort – zu messen.

Als Folge dieser Arbeiten entwickelte sich ein Teilgebiet der kognitiven Psychologie, die mentale Chronometrie. Sie untersucht Struktur und zeitliche Abfolge von psychomotorischen Leistungen. Grundlage dieser Forschung ist die Messung von Reaktionszeiten bei bestimmten Aufgabenstellungen. In der Regel präsentiert der Untersucher einer Versuchsperson einen bestimmten Reiz und misst die Reiz-Antwort. Dies entspricht der vereinfachten Modellannahme des menschlichen Gehirns als „Black Box“: Auf einen Input folgt ein Output, der durch die momentanen Zustandsgrößen (State) beeinflusst wird (Abbildung 2.5).

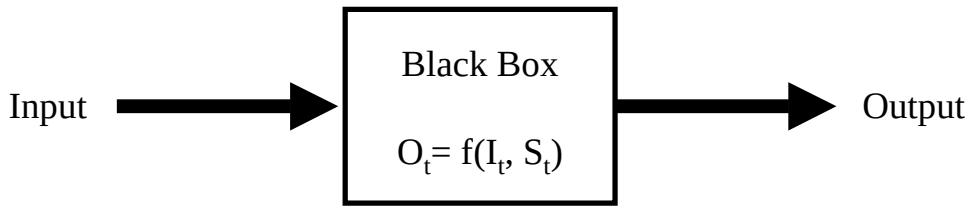


Abb. 2.5.: Die Übertragungsfunktion $O_t = f(I_t, S_t)$ beschreibt die Beziehung zwischen den verschiedenen Eingangs-(Input, I), Ausgangs- (Output, O) und Zustandsgrößen (State, S) eines Systems in der Zeit

In der technischen Informationsverarbeitung wird die Zustandsgröße konstant gehalten, d.h. das System verändert über längere Zeit seinen Zustand nicht. Damit ist die Ausgangsgröße über die Eingabegröße vollständig bestimmt. Anders verhält es sich bei biologischen Systemen. Hier können kurzfristige Einflussgrößen, wie Ermüdung oder Motivation des Probanden, eine übergeordnete Rolle spielen. Diese Zustandsparameter beeinflussen dann direkt den Output des Systems. Übertragen auf die Versuchsperson kann so z.B. seine Reaktion auf einen Reiz erst verspätet eintreten. Um das Ausmaß dieser Beeinflussung bestimmen zu können, sind auf der einen Seite klar definierte Einflussgrößen notwendig, auf der anderen Seite geeignete Testverfahren, die den psychometrischen Gütekriterien wie Reliabilität, Sensitivität oder Validität genügen. In der Folge wurden entsprechend dieser Kriterien unterschiedliche Testverfahren entwickelt.

Die ausgewählten Testverfahren sollen dabei einen möglichst breiten Bereich grundlegender kognitiver bzw. psychomotorischer Verhaltensanforderungen entsprechend der Human Performance Theorie (HPT) umfassen. Dabei sucht man nach Gesetzmäßigkeiten zwischen den erfassten Parametern der einzelnen Aufgaben und der Leistungsfähigkeit. Diese Suche nach Regeln hat zu der Entwicklung einer großen Anzahl von Modellen der Informationsverarbeitung geführt. Trotz der Unterschiede der untereinander konkurrierenden Modelle liegt allen ein „modales Modell“ der Organisation menschlicher Informationsverarbeitung zugrunde. Die zentrale Annahme aller Modelle ist nämlich die, dass der Mensch ein „einzelnes informationsverarbeitendes System“ ist, ausgestattet mit einem Gedächtnis-Speicher oder einer Zusammenstellung solcher Systeme mit unterschiedlichen Funktionalitäten. In dieser sog. Computer-Analogie wird insbesondere eine limitierte Kapazität angenommen unter der Vorstellung, dass mentale Prozesse Zeit verbrauchen und die benötigte Zeit in Abhängigkeit von der Komplexität steigt. Damit ist auch die „mentale Chronometrie“, die – wie schon beschrieben – eine Aufteilung der Reaktionszeit in verschiedene mentale Prozesse vorsieht, eines der wichtigsten Instrumente der Anhänger der HPT.

2.2.2. Sternberg Paradigma

Dieser Ansatz, den Prozess zwischen dem Reiz und der anschließenden Reaktion in diskrete Einheiten zu unterteilen, wurde in der Folge von verschiedenen Forschern aufgegrif-

fen. So auch von dem amerikanischen Psychologen Saul Sternberg [1], der die Methode von Donders zu der Methode der „Additiven Faktoren“ [Sternberg, 1969] erweitert hat. Sternberg beschreibt in seinem Stufenmodell die Abfolge von diskreten Verarbeitungsschritten bei Wahlreaktionsaufgaben (siehe Abb. 2.6).

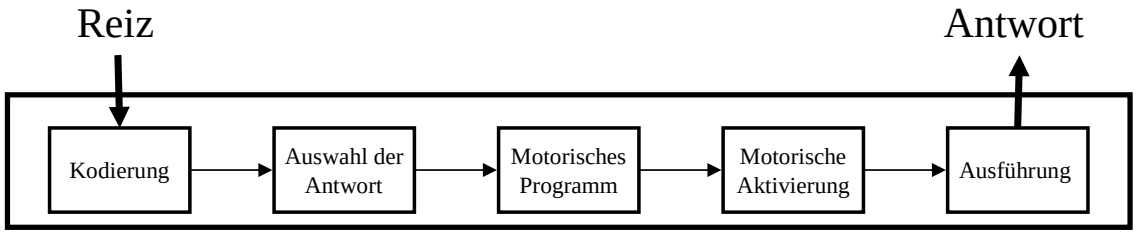


Abb. 2.6.: Stufen des Reaktionsprozesses. Sternberg beschreibt in einem Stufenmodell die Abfolge von diskreten Verarbeitungsschritten bei Wahlreaktionsaufgaben. Zunächst wird der Reiz in einen Sinneseindruck kodiert. Bei einem visuellen Reiz werden die Photonen in elektrische Signale kodiert, die zunächst im visuellen Kortex verarbeitet werden. In weiteren kortikalen Verarbeitungsprozessen wird eine Antwort ausgewählt, die einem motorischen Programm entspricht. Die motorische Antwort bedingt eine Abfolge von motorischen Aktivierungen, deren Ausführung die Antwort auf den Reiz darstellen. Ein Beispiel für ein solches Stufenmodell wäre eine Aufgabenstellung, in der ein Proband auf einen Lichtreiz einen Schalter betätigen muss. Die Kette von der Darbietung des Lichtreizes bis zur motorischen Antwort des Schaltens kann in solchen Stufen modelliert werden.

Dem Stufenmodell von Sternberg liegt eine Speicherung der Reizkodierung, möglicher Antworten und motorischer Programme zugrunde. Dabei bedient sich Sternberg dem Drei-Speicher-Modell von Atkinson und Shiffrin [1968]. Danach wird das Gedächtnis in einen sensorischen Register (oder Ultra-Kurzzeitgedächtnis), das Kurzzeitgedächtnis (KZG) und das Langzeitgedächtnis (LZG) unterteilt (Abb. 2.7). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Speicherkapazität, der Speicherdauer, der Informationskodierung und der Mechanismen des Zerfalls bzw. Vergessens. Die Aufnahme von Information erfolgt zunächst über das sensorische Register, das aufgrund seiner hohen Aufnahmefähigkeit alle somatosensorischen Eindrücke (visuell, auditorisch, olfaktorisch, haptisch und gustativ) für eine kurze Zeit (etwa 5 sec) sammelt. Einige dieser Eindrücke werden in der nachgeschalteten Instanz, dem Kurzzeitgedächtnis mit begrenzter Kapazität gespeichert. Das Kurzzeitgedächtnis ist in der Lage, Eindrücke in Informationsketten, den sog. „Chunks“, zu bündeln. Empirische Untersuchungen haben ergeben, das die Obergrenze für das KZG bei 7 ± 2 Chunks bei einer Speicherdauer von 30s bis wenige Minuten liegt, wobei die Informationsmenge pro Chunk sehr hoch sein kann [Miller, 1956]. Dabei wird der spezifische Inhalt der Chunks als unbedeutend für das KZG angesehen. Es spielt also keine Rolle ob Zahlen, Buchstaben oder Wörter in diesen etwa fünf bis neun Chunks gespeichert werden, und das, obwohl der Informationsgehalt (engl. Bits) dieser Materialien sehr unterschiedlich sein kann. Durch wiederholtes Memorieren gelangen die Informationen

[1] Homepage: `http://www.psych.upenn.edu/~saul/`

schließlich in das LZG. Sie bleiben in der Regel ein Leben lang gespeichert. Das LZG hat eine nahezu unbegrenzte Speicherkapazität.

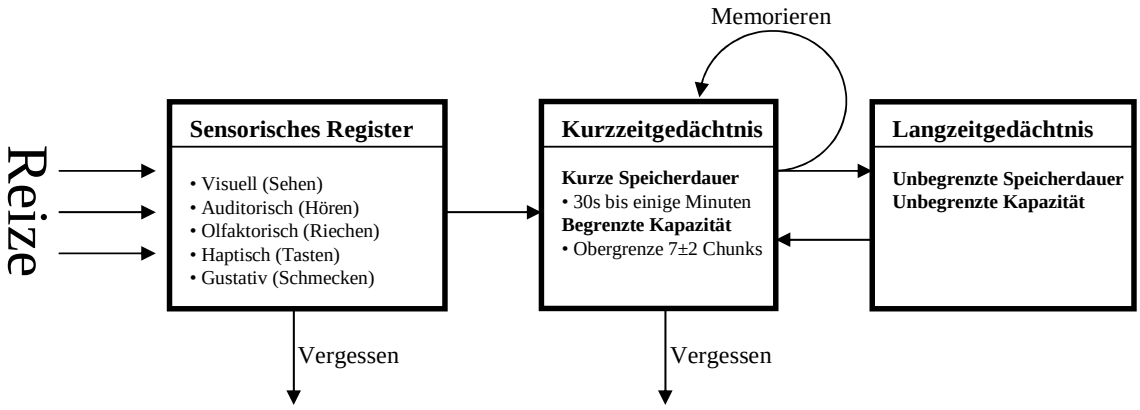


Abb. 2.7.: Das Drei-Speicher-Modell von Atkinson und Shiffrin [1968] unterteilt das Gedächtnis in den Sensorischen Register, das Kurzzeitgedächtnis und das Langzeitgedächtnis.

Nach Sternbergs Stufenmodell hängen die Verarbeitungsschritte von der Form der Aufgabenstellung und nicht so sehr von ihrem Inhalt ab.

Sternberg [1966] hat in der Folge Experimente zu Gedächtnisleistungen durchgeführt, die in der Lern- und Gedächtnispsychologie als „Sternberg Paradigma“ bekannt wurden. Mit seinem Stufenmodell gelang es ihm, die Informationsabfrage des Kurzzeitgedächtnisses abzubilden. Statt der klassischen Methode, einem Probanden Lerninhalt anzubieten, eine definierte Zeit abzuwarten und anschließend die gespeicherte Information wiedergeben zu lassen, wobei anhand der Menge der wiedergegebenen Information die Reproduktionsgüte bestimmt wird, steht im Sternberg-Paradigma die Reaktionszeit bis zur Wahlentscheidung im Vordergrund. Seine Probanden bekamen die Aufgabe, sich bestimmte Items, z.B. Buchstaben, einzuprägen. Damit die Probanden die erlernten Items sicher im Kurzzeitgedächtnis speichern können, wurde eine Anzahl zwischen 1 bis 6 Items erlernt. Nach einer gewissen Lernphase wird ein Testitem angeboten und der Proband entscheidet, ob es einem erlernten Item entspricht oder nicht (Wiedererkennungsparadigma).

Sternberg untersuchte die Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Anzahl der erlernten Items. Er suchte auch nach Unterschieden in der Reaktionszeit für „positive“ Durchgänge, in denen das gelernte Item als Testitem vorkommt, verglichen mit „negativen “ Durchgängen, bei denen das Item nicht enthalten ist. Nach seinem Stufenmodell wird das Testitem zunächst perzeptuell kodiert (in unserem Beispiel wird ein visueller Reiz, der Buchstabe, in ein phonetisches Perzept verarbeitet). Danach findet der Vergleich des Testitems mit den Items im KZG statt, woraufhin eine Auswahlentscheidung getroffen wird (Testitem ist enthalten bzw. ist nicht enthalten). Dieser Schritt entspricht der Stufe „Auswahl der Antwort“. Im letzten Schritt wird schließlich die Antwort in eine motorische Reaktion übersetzt, entsprechend den Stufen „Motorisches Programm“, „Motorische Aktivierung“ und „Ausführung“.

Sternberg nahm an, dass für die Auswahl der Antwort theoretisch drei verschiedene Möglichkeiten bestehen, die einzelnen Items mit dem Testitem zu vergleichen:

Parallele Suche: Der Gedächtnisinhalt wird als Ganzes abgetastet und alle erlernten Items werden gleichzeitig mit dem Testitem verglichen.

Sequentielle Suche mit Abbruch: Die erlernten Items im KZG werden nacheinander abgetastet und jedes Einzelne mit dem Testitem verglichen. Stimmt ein Item mit dem Testitem überein wird die Suche abgebrochen.

Sequentielle Suche ohne Abbruch: Die erlernten Items werden ebenfalls nacheinander einzeln mit dem Testitem verglichen. Bei Erfolg wird die Suche jedoch nicht abgebrochen, sondern bis zum Ende fortgesetzt.

Sternberg wies in seinen Versuchen einen linearen Zusammenhang zwischen der Reaktionszeit und der Anzahl der erlernten Items - bestehend aus 1 bis 6 Items - nach. Mit Hilfe der Subtraktionsmethode errechnete er so eine konstante Zunahme der Reaktionszeit in Abhängigkeit von der Anzahl an erlernten Items, die bei etwa 40 ms pro Item liegt. Aufgrund dieses Ergebnisses folgerte Sternberg, dass der Proband für seine Wahl die Liste der erlernten Items *sequentiell* durchgeht und jedes Testitem mit dem erlernten Item auf Gleichheit überprüft.

Bei einem *negativen Durchgang* - das Testitem ist nicht mit den erlernten Items identisch - müsste der Proband logischerweise die gesamte Liste abarbeiten, um eine Aussage zu treffen. Bei einem *positiven Durchgang* - das Testitem entspricht einem erlernten Item - würde man erwarten, dass der Proband beim Wiederauffinden des Items innerhalb der Liste die sequentielle Suche abbricht und eine Reaktion zeigt. Demnach würde der Proband bei einer randomisierten Verteilung der Position des gesuchten Items innerhalb der Liste bei positiven Durchgängen verglichen mit negativen im Durchschnitt nur halb so viele Items überprüfen, um seine Wahl zu treffen. Bei konstanter Prüfzeit pro Item von 40 ms müsste ein Proband bei positiven Listen eine nur halb so große Reaktionszeit für die Antwortauswahl zeigen wie bei den negativen.

Tatsächlich hat sich aber kein Unterschied bei positiven und negativen Durchgängen gezeigt. Die lineare Abhängigkeit von der Anzahl der Items war in beiden Fällen gleich. Sternberg folgerte daraus, dass auch bei den positiven Durchgängen die Entscheidung erst am Ende der Liste getroffen wird, der Proband also eine **Sequentielle Suche ohne Abbruch** (erschöpfende Suche) durchführt.

2.2.3. Spezifikation der AGARD-STRES-BATTERY

Anfangs existierten keine einheitlichen Testverfahren, was den Vergleich der von verschiedenen Gruppen erhobenen Testdaten erschwerte. Daher bestand schon früh ein Bedürfnis nach Standardisierung. Allein anhand des Sternberg Paradigmas läßt sich schon

ersehen, wie unterschiedlich Versuchsaufbau und -durchführung zu Fragen der Gedächtnisleistung sein können. Für die Entwicklung eines standardisierten Testverfahrens auf der Grundlage dieser Technik, müsste das verwendete Itemmaterial, die Reizdauer, die Reizantwort, die Anzahl von Vorübungen und weitere Randbedingungen präzise definiert werden. Die rasante Entwicklung computergestützer Testverfahren erleichtert zwar die Datenerhebung, was zu einer weiten Verbreitung von Gedächtnisstudien auf dem Gebiet der angewandten Forschung geführt hat, verdeutlicht aber auch, wie dringend so ein Standard für den Vergleich der von unterschiedlichen Forschergruppen erhobenen Datenmengen gebraucht wird. Dabei müssen verschiedene Gütekriterien erfüllt werden, damit ein Leistungstest als psychometrisches Verfahren eingesetzt werden kann:

1. Das psychometrische Verfahren muss standardisiert sein. Das bedeutet, dass für jeden Teilnehmer die gleichen Bedingungen gelten müssen. Außerdem muss das Verfahren allgemein verbindliche Maßstäbe, sog. Normen, für die Beurteilung der Ergebnisse besitzen.

2. Das psychometrische Verfahren muss objektiv sein. Das bedeutet, dass die Ergebnisse völlig unabhängig vom jeweiligen Untersucher sein müssen, egal, wer eine Person analysiert. Durchführung, Auswertung und Interpretationen des psychometrischen Verfahrens müssen immer gleich sein.

3. Das psychometrische Verfahren muss zuverlässig sein. Unter Zuverlässigkeit versteht man den Grad der Genauigkeit, mit der ein psychometrisches Verfahren ein bestimmtes Merkmal misst. Messungen sind dann zuverlässig, wenn die Werte unabhängig vom Zeitpunkt der Messung sind, d.h., bei Wiederholung der Analyse muss bei einer Person ungefähr das gleiche Ergebnis auftreten. (Test-retest Reliablity)

4. Das psychometrische Verfahren muss gültig sein. Die Gültigkeit des psychometrischen Verfahrens bezieht sich darauf, ob das Verfahren wirklich das misst, was es zu messen vorgibt. Damit wird die inhaltliche Genauigkeit angesprochen, mit der das Verfahren ein Merkmal quantifiziert.

5. Die theoretischen Grundlagen von psychometrischen Verfahren zur Eignungsbeurteilung müssen ausführlich beschrieben werden, die Grundkonzeption muss ohne zusätzliche Sekundärliteratur in der Verfahrenshinweise erkennbar sein. Modifikationen theoretischer Vorstellungen durch den Autor sind besonders deutlich zu machen. Sofern die Verfahrenshinweise sich auf eine empirische Arbeit beziehen, müssen diese eine kritische Würdigung der Ergebnisse hinsichtlich ihrer theoretischen und methodischen Grundlagen ermöglichen.

Der Aufgabe der Schaffung eines Standards hat sich die *Advisory Group for Aerospace Research and Development* (AGARD), ein NATO Gremium, gestellt. Mit K.M. Goeters und Edwin Schwartz gehörten zwei der acht Personen umfassenden Arbeitsgruppe dem

DLR an. Ihre Überlegungen führten zu der Spezifikation von verschiedenen Aufgabentypen, die im Jahr 1989 als AGARD-STRES-Battery veröffentlicht wurden [AGARD, 1989]. Sie ist laut AGARD als Erweiterung der von den amerikanischen Streitkräften (US Navy, Air Force and Army) entwickelten UTC-PAB (Unified Tri-Service Cognitive Performance Assessment Battery) [Englund u. a., 1987], aufbauend auf dem CTS (Criterium Task Set) [Shingledecker, 1984] zu verstehen.

Sieben allgemeingültige Paradigmen, wobei jedes Paradigma aufgrund seiner bisherigen, psychometrischen Relevanz ausgewählt wurde, bilden die Basis der AGARD-STRES-Battery [AGARD, 1988]:

1. Reaktionszeit (*engl.* Reactiontime Task, RT)– In der Spezifikation der AGARD-STRES-Battery besteht der Stimulus aus der Einblendung einer Ziffer. Die Positionierung der Ziffer (entweder in der linken oder rechten Monitorhälfte) und die Güte der Darstellung der Ziffern (gut abgrenzbar bis von Störpixel überlagert) werden variiert. Der Proband muss eine Auswahl zu der Positionierung und der Güte treffen, wobei seine Reaktionszeit und seine Fehlerquote gemessen werden. Dazu stehen dem Probanden vier verschiedene Tasten zur Verfügung. Primär werden Anforderungen an Aufmerksamkeit und Vigilanz gestellt. So sollen die verschiedenen Stufen, die den Reaktionsprozess bilden, getestet werden.

2. Mathematisches Gedächtnis (*engl.* Mathematical Processing Task, MPT)– Mit Hilfe von einfachen Rechenoperationen wird die Fähigkeit getestet, a) Information aus dem Langzeitgedächtnis zu extrahieren, b) Information im Kurzzeitgedächtnis zu aktualisieren, c) sequentiell Rechenoperationen durchzuführen und d) Zahlen zu vergleichen. Dazu bekommt der Proband die Aufgabe, zwei Rechenoperationen (Addition und/oder Subtraktion) an einem Set bestehend aus drei Ziffern auszuführen. Er muss anschließend entscheiden, ob das Ergebnis der Rechenoperation größer (>) bzw. kleiner (<) als die Ziffer 5 ist und durch Drücken einer Taste („>“, „<“) die Auswahl bestätigen. Ein Beispiel für diese Aufgabe ist die Rechnung „ **5 + 3 - 4 =** “. In diesem Fall ist das Ergebnis 4 und damit kleiner als 5. Die richtige Auswahl ist dann die Taste „<“. Da dieser Aufgabentyp nicht für unsere Studien verwendet wurde, gehe ich nicht weiter auf den MPT ein.

3. Gedächtnissuche (*engl.* Memory Search Task, MST)– Nach dem Sternberg-Paradigma wird in der Vorbereitungsphase der Aufgabe eine Gruppe von Buchstaben variabler Anzahl gezeigt, die der Proband sich einprägen soll. Nach dem Start der Aufgabe wird jeweils ein Buchstabe auf dem Schirm dargeboten, der Proband soll mittels zweier Antworttasten entscheiden, ob der aktuelle Buchstabe zur erlernten Gruppe gehört oder nicht. Nach der Antwort erscheint unmittelbar der nächste Buchstabe. Mit steigender Gruppengröße wird die Reaktionszeit länger. Die Aufgabe erfasst die Funktion des Arbeits- und Kurzzeitgedächtnisses.

4. Räumliche Orientierung (*engl.* Spatial Processing Task, SPT)– Anhand eines aus 4 Balken bestehenden Histogramms wird das räumliche Orientierungsvermögen getestet. Der Proband prägt sich zunächst ein erstes Histogramm ein und entscheidet anschließend bei einem zweiten Histogramm, das um 90 oder 270 Grad verdreht ist, ob beide Histogramme identisch sind oder nicht. Da dieser Aufgabentyp nicht für unsere Studien verwendet wurde, gehe ich nicht weiter auf den SPT ein.

5. Nachführen (*engl.* Unstable Tracking Task, UTT)– In der Mitte des Bildschirms erscheint ein Cursor-Balken, der vom Programm zur Seite ausgelenkt wird, und zwar umso schneller, je weiter der Balken bereits von der Mittelposition entfernt ist. Der Proband soll den Balken mittels eines Joysticks so gut wie möglich in der markierten Mittelposition halten; protokolliert wird der jeweilige Abstand von der Mittelposition sowie die Zahl der Kontrollverluste, wenn der Balken den seitlichen Bildschirmrand erreicht. Die Aufgabe untersucht die Hand-Auge-Koordination sowie die Feinmotorik und ist typisch für Operatortätigkeiten in technischen Systemen.

6. Satzverifikation (*engl.* Grammatical Reasoning Task, GRT)– Bei dieser Aufgabe wird in der Mitte des Bildschirms eine Gruppe von drei Symbolen präsentiert, z.B. „$*$ & #“, deren Reihenfolge von Frage zu Frage wechselt. Die beiden ersten Bildschirmzeilen zeigen sprachliche Aussagen zur Reihenfolge der Symbole in der dritten Zeile, z.B. „& steht vor $*$“, „# steht nach &“. Der Proband bestimmt den Wahrheitsgehalt der Aussagen und betätigt die „Gleich“-Taste, wenn beide Teilaussagen richtig oder falsch sind, die „Unterschieds“-Taste, wenn eine Aussage wahr, die andere falsch ist (in unserem Beispiel ist der Wahrheitsgehalt unterschiedlich). Mit erfolgter Antwort wird die nächste Frage präsentiert. Mit dieser Aufgabe wird der Ablauf komplexerer mentaler Vorgänge getestet.

7. Doppelaufgabe (*engl.* Dual-Task, DUT)– Bei dieser Aufgabe werden MST und UTT gleichzeitig präsentiert, der Proband muss mit den Wahlreaktionstasten auf die präsentierten Buchstaben antworten und gleichzeitig mit dem Joystick den Balken in der Mitte halten. Die Aufgabe testet die Reservekapazität bei Mehrfachbelastung.

Die Antwort des Probanden wird in der Regel als Einzelreaktion, Wahlreaktion oder Nachführung (engl. Tracking) gestaltet. Einige Gründe, die für den Einsatz der AGARD-STRES-Battery sprechen, sind nachfolgend aufgeführt.

- Untersucher können diese Testverfahren einzeln (engl. „narrow band“) oder in verschiedenen Kombinationen (engl. „broad band“) einsetzen [Hockey und Hamilton, 1983].

- Durch die elektronische Datenverarbeitung ist es möglich, im Gegensatz zu Papier-Bleistift-Aufgaben neben der Fehlerrate und Gesamtleistung auch die Einzelreak-

tionszeiten für jede einzelne Aufgabenstellung zu protokollieren. Das Aufeinanderfolgen von Einzelaufgaben wird in der Regel vom Verhalten des Untersuchten gesteuert, d.h. nach Beantwortung der aktuellen Frage folgt unmittelbar die nächste (engl. self-paced).

- Daneben können die Kosten für die Testdurchführung minimiert werden, da Verbrauchsmaterial (Papier, Bleistift) gespart wird. Untersucher-Gruppen können die Datenerhebung automatisiert durchführen. So werden auch Fehler, die bei der Übertragung der Daten von Papier in Tabellen entstehen können, vermieden.

- Die Dauer einer einzelnen Aufgabe ist in der Regel auf eine kurze Zeitspanne (z.B. 3 min) beschränkt; sie kann aber auch speziell für Untersuchungen zur Ermüdung (z.B. auf bis zu 10 min) verlängert werden. Die einzelnen Tests werden zu einer Sitzung, die insgesamt eine mittlere Zeitdauer (z.B. 30 min) abhängig von der Anzahl der Einzeltests umfasst, zusammengesetzt. Diese Sitzungen werden – in festen Intervallen (z.B. 3h) über den Tag verteilt – wiederholt, um auch tageszeitliche Schwankungen erfassen zu können.

Die Strategie, ein einzelnes Testverfahren (mit fester Aufgabenstellung und Abarbeitung) unter dem Einfluss unterschiedlicher Stressoren zu untersuchen, gibt Aufschluss über die Wirkung der verschiedenen Stressoren auf ein festgelegtes Merkmal der Leistungsfähigkeit. So können elementare Prozesse der menschlichen Leistung, wie Reaktionsvermögen, Konzentrationsfähigkeit, Aufmerksamkeit und psychomotorisches Verhalten unter dem Einfluss eines definierten Störfaktors untersucht werden.

3. Material und Methoden

In diesem Kapitel wird zunächst das Studiendesign der PSD Studie vorgestellt. Die Auswahlkriterien, die bei der Probandensuche zugrunde lagen und die Stressoren partieller Schlafentzug, Hypoxie sowie Alkohol, die zum Einsatz kamen, werden beschrieben.

Danach folgen eine Beschreibung der Methoden zur Leistungsmessung und die Laborbedingungen, unter denen die Leistungstests durchgeführt wurden. Für die Messung der Leistungsfähigkeit wurde für die PSD Studie ein Teil-Set aus der AGARD-STRES-Battery ausgewählt. Eingeschlossen sind ein Reaktionszeittest, Testverfahren zur Gedächtnissuche und zur Bestimmung der Feinmotorik durch Nachführen. Weiterhin gehören ein Test der Satzverifikation und eine Kombination zweier Testverfahren als Doppelaufgabe bestehend aus der Gedächtnissuche und dem Nachführen zum Set. Verschiedene Parameter, wie Testdauer oder Auswahl an Testmustern, die eingeprägt werden müssen, erlauben es dem Untersucher den Schwierigkeitsgrad unterschiedlich einzustellen.

Den Abschluss bilden die statistischen Methoden, die für die Auswertung der Daten der Leistungstests angewandt wurden.

3.1. PSD Studie

Im Rahmen dieser Studie wurde die Leistungsfähigkeit unter verkürzter Schlafdauer (PSD, Partieller Schlafentzug) im Vergleich zu anderen Stressoren gemessen. Während der Studie wurde über einen Zeitraum von 12 Tagen die Leistungsfähigkeit der Probanden unter Einfluss von Hypoxie, Alkohol und Schlafentzug an der AGARD-STRES-Battery im AMSAN getestet.

3.1.1. AMSAN

Für die PSD Studie hielten sich die Versuchspersonen in der schall- und lichtisolierten Arbeitsmedizinischen Simulationsanlage (AMSAN, Abb. 3.1) im Untergeschoß des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin im DLR, Köln-Porz, auf. Diese insgesamt 300 m^2 große, von der Außenwelt abgeschirmte Anlage bietet kontrollierte Umweltzustände zu Studienzwecken. Die gesamte Anlage ist schallgeschützt, vollklimatisiert und verfügt über keine Fenster. Künstliches Licht mit einem dem Tageslicht bis auf den UV Anteil vergleichbaren Spektrum ermöglicht die Simulation von verschiedenen Tagesabläufen unter Laborbedingungen. Somit sind auch Isolationsbedingungen möglich. Die Anlage weist eine Zweiteilung in einen Schlaftrakt und einen Aufenthaltsraum mit angrenzenden

Mess- und Testräumen, einem biochemischen Labor und einem Untersucherzimmer auf. Weiterhin gehören noch eine Küche, zwei Duschräume und ein Bad zur Ausstattung. Der Schlaftrakt besteht aus 8 Einzelschlafzimmern. Das AMSAN erlaubt somit eine maximale Unterbringung von 8 Probanden. Zur Unterhaltung der Probanden sind Fernseher und Videorecorder vorhanden. Die Abbildung 3.1 zeigt den Grundriss des AMSAN.

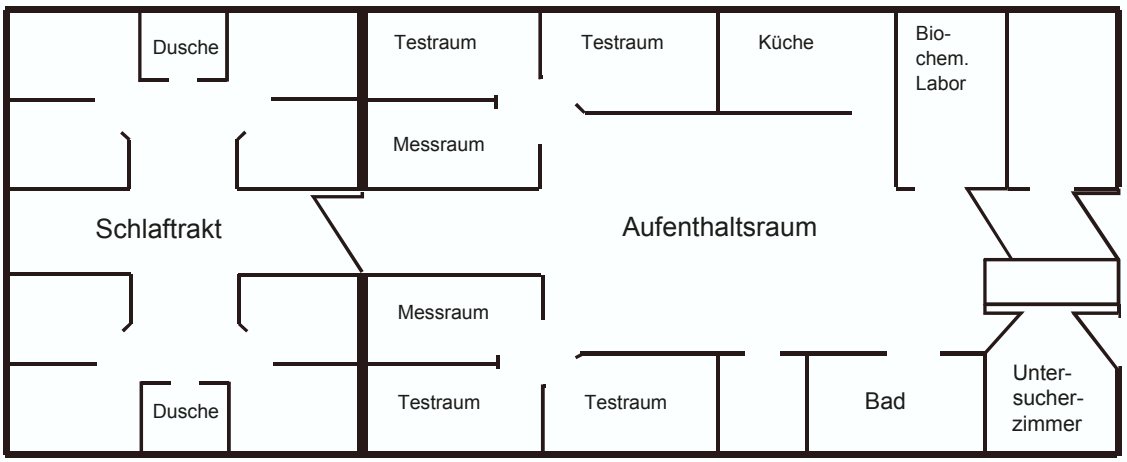


Abb. 3.1.: Grundrissplan der Arbeitsmedizinische Simulationsanlage *AMSAN* (ca. 300 m ^{2}). Der Schlaftrakt besteht aus 8 Schlafzimmern mit Einzelbetten und zwei Duschräumen. In den angrenzenden Räumen sind der Aufenthaltsraum mit Wohn- und Essbereich, 4 Testräume für die Probanden, 2 Messräume für die Untersucher, Küche, Bad, ein Aufenthaltsraum für die Untersucher und ein biochemisches Labor untergebracht. Die Testräume sind für die Leistungsmessung an der AGARD-STRES-Batterie mit Einzelarbeitsplätzen ausgestattet. Jeder Proband kann so ungestört in einem Testraum die Aufgaben am Computer durchführen.

3.1.2. Auswahlkriterien

An der Studie nahmen nach Einholung der Genehmigung durch die Ethikkommission der Ärztekammer Nordrhein 8 gesunde, männliche Probanden ($28,1 \pm 2,8$ a) (siehe Tabelle 3.1) teil, die anhand folgender Kriterien ausgewählt wurden:

1. Alter zwischen 18 und 35 Jahren
2. untrainiert
3. Nichtraucher
4. körperlich und psychisch gesund

Die Rekrutierung erfolgte über Zeitungsanzeigen und Aushänge. Nach einem Auswahlverfahren anhand der Bewerbungsunterlagen wurden die Kandidaten zur Überprüfung des Gesundheitszustandes zu der hausinternen flugmedizinischen Untersuchungsstelle eingeladen. Zusätzlich wurden ihre psychologischen Profile erfasst und Test- Elektroenzephalogramme angefertigt, um die Stärke des α- Rhythmus beurteilen zu können. Die Beurteilung des psychologischen Profils wurde unter Zuhilfenahme von Fragebögen, wie

Proband	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]
A	26	184	65
B	28	175	75
C	32	185	79
D	29	190	86
E	28	179	84
F	31	179	78
G	23	173	73
H	28	193	83
Mittelwert	28.1	182.3	77.9
Standardabweichung	2.8	7.0	6.9
Minimum	23	173	65
Maximum	32	193	86

Tabelle 3.1.: Ergonometrische Daten des Probandenkollektivs

dem Freiburger Persönlichkeits-Inventar, durchgeführt. Bei deren Analyse wurde darauf geachtet, die endgültige Auswahl der Probanden so zu treffen, dass eventuelle Konflikte und störende gruppendynamische Effekte, die durch die räumliche Enge und Isolation im AMSAN entstehen können, vermieden wurden. Die Zusammensetzung der Gruppe sollte ähnlich sein in Bezug auf Schulbildung, Alter, Größe und Gewicht. Am Ende dieses Auswahlverfahrens wurden 16 Bewerber ausgewählt. Die Kandidaten wurden 4 Wochen vor Begin der Hauptuntersuchung in insgesamt 40 Sitzungen an der AGARD-STRES-Battery trainiert. So sollte ein stabiles Lernplateau erreicht und spätere Trainingseffekte vermieden werden. Da das Training im AMSAN durchgeführt wurde, hatten die Probanden auch Zeit, sich an die Anlage und den Arbeitsplatz zu gewöhnen und sich mit der Umgebung vertraut zu machen.

Nach Durchsicht der Leistungsergebnisse wurden von den 16 Bewerbern 12 ausgewählt, die eine vergleichbare Leistungsfähigkeit zeigten und so eine harmonische Gruppe bilden konnten. Von diesen 12 Teilnehmern dienten 4 als Reserve für die endgültigen 8 Probanden, falls jemand verhindert sein sollte an dem Experiment teilzunehmen. Alle Probanden wurden über den Studienablauf und mögliche gesundheitliche Risiken aufgeklärt und gaben ihre schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme, die sich nach Empfehlungen der Deklaration von Helsinki richtete. Ihre Teilnahme wurde durch eine angemessene Aufwandsentschädigung honoriert.

3.1.3. Studienablauf

Eine Woche vor Beginn der Studie wurden die Probanden angewiesen, ihr Schlafverhalten dem geplanten Rhythmus, von 23.00 Uhr Zu-Bett-Gehen und 7.00 Aufstehen, anzupassen.

Die Probanden mussten insgesamt 62 Sitzungen entsprechend dem Versuchsdesign nach Tabelle 3.2 zu festgelegten Zeiten unter kontrollierten Bedingungen ableisten. Dabei

wurden nacheinander Hypoxie, Alkohol und an 4 aufeinander folgenden Tagen partieller Schlafentzug (Schlafdauer von 5 h) entsprechend der Tabelle 3.3 als Stressoren untersucht.

Sitzung	Tag	Uhrzeit	Stressor
1	**Tag 1**	15.00	Kontrolltag
2		18.00	Kontrolltag
3		21.00	Kontrolltag
4	**Tag 2**	9.00	Kontrolltag
5		12.00	Kontrolltag
6		15.00	Kontrolltag
7		18.00	Kontrolltag
8		21.00	Kontrolltag
9	**Tag 3**	9.00	Kontrolltag
10		12.00	Kontrolltag
11		15.00	Kontrolltag
12		18.00	Kontrolltag
13		21.00	Kontrolltag
14	**Tag 4**	9.00	Hypoxie
15		12.00	Hypoxie
16		15.00	Hypoxie
17		18.00	Hypoxie
18		21.00	Hypoxie
19	**Tag 5**	9.00	Alkohol
20		12.00	Alkohol
21		15.00	Alkohol
22		18.00	Alkohol
23		21.00	Alkohol
24	**Tag 6**	9.00	Erholung
25		12.00	Erholung
26		15.00	Erholung
27		18.00	Erholung
28		21.00	Erholung
29	**Tag 7**	6.00	1.Nacht PSD
30		9.00	1.Nacht PSD
31		12.00	1.Nacht PSD
32		15.00	1.Nacht PSD
33		18.00	1.Nacht PSD
34		21.00	1.Nacht PSD
35	**Tag 8**	6.00	2.Nacht PSD
36		9.00	2.Nacht PSD
37		12.00	2.Nacht PSD
38		15.00	2.Nacht PSD
39		18.00	2.Nacht PSD
40		21.00	2.Nacht PSD
41	**Tag 9**	6.00	3.Nacht PSD
42		9.00	3.Nacht PSD
43		12.00	3.Nacht PSD
44		15.00	3.Nacht PSD
45		18.00	3.Nacht PSD
46		21.00	3.Nacht PSD
47	**Tag 10**	6.00	4.Nacht PSD
48		9.00	4.Nacht PSD
49		12.00	4.Nacht PSD
50		15.00	4.Nacht PSD
51		18.00	4.Nacht PSD
52		21.00	4.Nacht PSD
53	**Tag 11**	9.00	Erholung
54		12.00	Erholung
55		15.00	Erholung
56		18.00	Erholung
57		21.00	Erholung
58	**Tag 12**	9.00	Erholung
59		12.00	Erholung
60		15.00	Erholung
61		18.00	Erholung
62		21.00	Erholung

Tabelle 3.2.: Tabellarische Darstellung zum Design der PSD Studie. Anhand dieser Tabelle lassen sich die einzelnen Sitzungen 1-62 den jeweiligen Tagen mit und ohne Einfluss der Stressoren zuordnen.

Im Einzelnen stellte sich der Studienablauf der PSD Studie wie folgt dar. Am ersten Tag, dem Tag der Anreise, erfolgte der Studienbeginn um 13:00 Uhr. An diesem Tag wurden die ersten 3 Sitzungen mit einem zeitlichen Abstand von 3 Stunden (um 15:00, 18:00 und 21:00 Uhr) durchgeführt. Danach fanden täglich 5 (um 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 und 21:00 Uhr), an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer 6 Sitzungen (um 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 und 21:00 Uhr) mit wiederum 3 Stunden Pause an der AGARD-STRES-Battery statt. Die ersten 3 Tage stellten die Kontrolltage dar. So konnten sich die Probanden an die veränderte Umwelt des AMSAN gewöhnen. Daten, die während der Kontrolltage erhoben wurden, dienten als Referenzwerte der ungestörten Leistungsfähigkeit (Baseline).

Versuchstag	Schlafzeit	Schlafdauer	Sitzungen	Stressor
Tag 1	23:00 - 07:00	8 h	3	Kontrolltag
Tag 2	23:00 - 07:00	8 h	5	Kontrolltag
Tag 3	23:00 - 07:00	8 h	5	Kontrolltag
Tag 4	23:00 - 07:00	8 h	5	Hypoxie
Tag 5	23:00 - 07:00	8 h	5	Alkohol
Tag 6	23:00 - 07:00	8 h	5	Erholung
Tag 7	00:00 - 05:00	5 h	6	1.Nacht Schlafentzug
Tag 8	00:00 - 05:00	5 h	6	2.Nacht Schlafentzug
Tag 9	00:00 - 05:00	5 h	6	3.Nacht Schlafentzug
Tag 10	00:00 - 05:00	5 h	6	4.Nacht Schlafentzug
Tag 11	23:00 - 07:00	8 h	5	Erholung
Tag 12	23:00 - 07:00	8 h	5	Erholung

Tabelle 3.3.: Schlafdauer und Stressoreneinfluss entsprechend der Studientage 1-12.

Die Probanden atmeten am vierten Tag unterschiedliche Sauerstoff-Konzentrationen über Atemmasken aus Flaschen mit einem Helium-Sauerstoff-Gemisch ein. Am fünften Tag erfolgte die Untersuchung des Stressors Alkohol. Der sechste Tag diente der Erholung der Probanden, da erfahrungsgemäß nach Alkoholeinnahme am folgenden Tag Beschwerden wie Übelkeit, Appetitlosigkeit, Müdigkeit und Konzentrationsstörungen auftreten können. Durch den Erholungstag sollten Überlappungen dieser Effekte mit denen des nachfolgenden Stressors Schlafentzug vermieden werden.

Der partielle Schlafentzug während der Studie erfolgte am siebten bis zum zehnten Tag (partieller Schlafentzug von vier Tagen). Diese wurde durch eine Schlafrestriktion mit einer Reduzierung der Aufenthaltszeit im Schlafraum von 8 auf 5 Stunden erreicht. Für den Probanden bedeutete das, dass er eine Stunde später ins Bett und zwei Stunden früher aufzustehen hatte. Er lag an diesen vier Tagen somit von 24:00 Uhr bis 5:00 Uhr im Bett. Die beiden letzten Versuchstage dienten der abschließenden Erholung der Probanden. Die Betreuung und ärztliche Aufsicht der Probanden war rund um die Uhr gewährleistet.

3.1.4. Tagesablauf

Der zeitliche und experimentelle Ablauf eines Tages wird im Folgenden beschrieben. Die Aufwachzeit wurde auf 7.00 Uhr (bzw. auf 5.00 Uhr zu den Tagen des Schlafentzugs) morgens festgelegt. Die Probanden wurden von den Versuchsleitern geweckt und von den Datenerfassungsgeräten (Polysomnographie) entkabelt. Sie mussten die Protokolle zur Erfassung der Schlafparameter (Sleep-Log) ausfüllen. Danach folgten das Ablegen der EEG-Hauben und sonstiger Messgeräte und die Abgabe der ersten Urinproben im Labor, die für eine Bestimmung der biochemischen Parameter Natrium, Kalium und 6-OH-Melatoninsulfat weiter aufbereitet wurden. Danach konnten sich die Probanden ihrer Morgentoilette widmen. Das Frühstück wurde um 8.00 Uhr eingenommen. Vorher mussten aber noch die Fragebögen der Fatigue-Checkliste beantwortet werden. Um 9.00 Uhr erfolgte dann die erste Sitzung des Tages im Testraum an der AGARD-STRES-Battery

mit anschließender Beantwortung des Taskload-Fragebogens. Die danach folgenden Sitzungen wurden im Abstand von 3 Stunden entsprechend der ersten Sitzung durchgeführt. Das Mittagessen erfolgte um 14.00 Uhr, zu Abend gegessen wurde um 20.00 Uhr.

3.1.5. Hypoxie

Während des vierten Tages erfolgte die Leistungsmessung unter Einfluß des Stressors „Hypoxie“. Die Probanden erhielten über Atemmasken unterschiedliche Sauerstoffkonzentrationen von 10%, 11,5% und 13% O_2. Diese geschlossenen Atemmasken wurden nur während der Tests an der AGARD-STRES-Battery am Computer getragen.

Der inspiratorische Sauerstoffpartialdruck erreicht dabei Werte, wie sie in einer bestimmten Höhe über dem Normaldruck von 1013 hPa auf Meeresniveau auftreten (siehe Tabelle 3.4).

So entsprechen (nach der Tabelle US Standard Atmosphere 1976 [on Extension to the Standard Atmosphere, 1976]) 10% O_2 einem korrespondierenden Höhenwert von 5340 m (17520 Fuß), 11,5% O_2 entsprechen 4410 m (14470 Fuß) und 13% O_2 entsprechen 3560 m (11680 Fuß).

O_2[%]	**Höhe über NN[m]**	**Fuß**
21	0	0
13	3560	11680
12	4120	13520
11,5	4410	14470
10	5340	17520

Tabelle 3.4.: Sauerstoffpartialdruck in Abhängigkeit von der Höhe über Meeresspiegel (NN) mit Angabe in Metern und in Fuß (m/ft jeweils auf 10 gerundet). Angegeben sind die im Versuch an die Probanden über Atemmasken veratmeten unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen von 10% O_2 bis 21% O_2.

Um den Effekt der Maskenatmung zu bestimmen, wurden auch bei einer Sauerstoffkonzentration von 21% O_2, also dem Normwert in der Standardatmosphäre, Sitzungen an der AGARD-STRES-Battery durchgeführt. Die bei diesen Normwerten ermittelten Leistungsergebnisse stellen die Kontrollwerte dar. Damit sich die Probanden an die Sauerstoffmasken gewöhnen konnten, wurde eine Voratemphase von 15 min eingehalten, an die sich die Leistungstests anschlossen.

Die Probandengruppe wurde in zwei Untergruppen zu vier Personen aufgeteilt. In der ersten Gruppe (ACDF) wurde der Sauerstoff an den Sitzungen um 12:00 Uhr, 15:00 Uhr und 18:00 Uhr in aufsteigender, in der zweiten Gruppe (BEGH) in absteigender Konzentration zugeführt. Während der Sitzungen um 9:00 Uhr und 21:00 Uhr haben beide Gruppen eine normale Sauerstoffkonzentration von 21% O_2 veratmet. Ziel dieses Cross-Over-Designs war es, eventuell auftretende Gewöhnungseffekte auszugleichen. Die Tabelle 3.5 gibt die Prozentangaben des relativen Sauerstoffgehalts eines Gasgemisches

Probanden		9:00 Uhr	12:00 Uhr	15:00 Uhr	18:00 Uhr	21:00 Uhr
ACDF	**O_2 [%]**	21	10	11,5	13	21
BEGH	**O_2 [%]**	21	13	11,5	10	21

Tabelle 3.5.: Cross-Over-Design an Tag 4 (Stressor Hypoxie). Dargestellt ist die Sauerstoffkonzentration (O_2) in Prozent [%] für die zwei Untergruppen (ACDF und BEGH). Dabei wurde der Sauerstoff an den Sitzungen um 12:00 Uhr, 15:00 Uhr und 18:00 Uhr in der ersten Gruppe (ACDF) in aufsteigender, in der zweiten Gruppe (BEGH) in absteigender Konzentration im Cross-Over-Design zugeführt. Während der Sitzungen um 9:00 Uhr und 21:00 Uhr haben beide Gruppen eine normale Sauerstoffkonzentration von 21% O_2 veratmet. Mit Hilfe dieses Cross-Over-Designs sollten eventuell auftretende Gewöhnungseffekte ausgeglichen werden. In der Tabelle sind die Prozentangaben des relativen Sauerstoffgehalts eines Gasgemisches (Helium-Sauerstoff) aufgeführt, die in den Flaschen enthalten waren. Diese Angaben waren nur dem Versuchsleiter bekannt. Dies entspricht einem Versuchsdesign eines Einfachblindversuchs.

(Helium-Sauerstoff) wieder, die in den Flaschen enthalten waren. Diese Angaben waren nur dem Versuchsleiter bekannt. Somit war dieser Teil vom Versuchsdesign her ein Einfachblindversuch.

3.1.6. Alkohol

Am fünften Tag erfolgte die Messung der Leistungsfähigkeit unter Alkoholkonsum. Die Probanden bekamen handelsüblichen Wodka, der unverdünnt und ohne Zusätze getrunken werden musste. Danach konnte Apfelsaft oder Orangensaft zum Nachtrinken verwendet werden.

Messung der Alkoholkonzentration

Die Blutalkoholkonzentration (BAK) ist die Menge von Alkohol im Blut, die üblicherweise in Promille [‰] angegeben wird.

Da die Alkoholkonzentration in der Atemluft (AAK) eines Menschen ungefähr seiner Blutalhoholkonzentration (BAK) entspricht, wurde die Messung der tatsächlich erreichten BAK nach Alkoholaufnahme über die AAK mittels eines sog. „Alkohmeters“ durchgeführt. Als BAK/AKK-Quotienten wurde 2 gewählt (siehe auch Seite 14). Das Messgerät wurde vor Studienbeginn im Werk des Herstellers unter Einhaltung der Eichfrist geeicht. Die Probanden wurden angeleitet, entsprechend der Tabelle in das Gerät zu pusten, um so die AAK zu ermitteln. Unmittelbar vor der Messung durfte nichts gegessen oder getrunken werden.

Cross-Over-Design der Alkoholgabe

Auch beim Alkohol wurde ähnlich der Hypoxie das Cross-Over-Design verwendet, um etwaige Gewöhnungseffekte auszugleichen. Dazu wurden die Probanden in zwei unterschiedliche Gruppen (Untergruppen ACDF und BEGH) eingeteilt. In der Tabelle 3.6 ist die Aufteilung der Probanden und die angezielte Blutalkoholkonzentrationen (BAK) in

Promille [‰] für die zwei Untergruppen (ACDF und BEGH) aufgeführt. Die benötigte Alkoholmenge für die gewünschte BAK kann durch eine Blutprobe oder durch Näherungsformeln abgeschätzt werden. Die einfachen Schätzformeln für BAK geben Anhaltspunkte, in welcher Menge Blut sich der aufgenommene Alkohol verteilt. In dieser Studie wurde die sog. Widmark-Formel (siehe Gleichung 3.1) als Näherung verwendet. So konnte für jeden Probanden die Alkoholmenge in Abhängigkeit von der Masse der Person berechnet werden, die benötigt wird, um eine bestimmte BAK zu erreichen. Als Zielgröße wurde 1,1 ‰ BAK gewählt.

$$A = c \cdot m \cdot r \tag{3.1}$$

dabei gilt:

A	die benötigte Masse des Alkohols in Gramm [g]
c	die erwünschte Alkoholkonzentration im Blut in Promille [‰]
m	die Masse der Person in Gramm [g]
r	Verteilungsfaktor: 0,7 für Männer

Alle Probanden mussten um 10:30 Uhr die individuell entsprechend dieser Widmark-Formel errechnete Alkoholmenge trinken. Die zweite Gruppe (BEGH) bekam entsprechend dem Cross-Over-Design um 13:30 Uhr und um 16:30 Uhr wieder Alkohol zum Trinken. Die Atemalkoholmessung erfolgte stündlich. Für die Umrechnung der AAK wurde ein BAK/AAK-Quotient von 2 (für die Wahl dieses Quotienten siehe Seite 14) angesetzt. Die Werte in der Tabelle sind entsprechend dieser Umrechnung in Promille [‰] angegeben. Die erste Messung wurde eine halbe Stunde nach Alkoholkonsum um 11:00 Uhr durchgeführt.

Probanden		**9:00 Uhr**	**12:00 Uhr**	**15:00 Uhr**	**18:00 Uhr**	**21:00 Uhr**
ACDF	**BAK [‰]**	0	1,1	0,6	0,2	0
BEGH	**BAK [‰]**	0	0,3	0,6	1,1	0,6

Tabelle 3.6.: Cross-Over-Design an Tag 5 (Stressor Alkohol). Dargestellt ist die angestrebte Blutalkoholkonzentrationen (BAK) in Promille [‰] für die zwei Untergruppen (ACDF und BEGH), die entsprechend der Widmark-Formel (siehe Gleichung 2.1 auf Seite 14) errechnet wurde. Auch hier wurde ähnlich wie beim Stressor Hypoxie das Cross-Over-Design verwendet und der Alkohol an den Sitzungen um 12:00 Uhr, 15:00 Uhr und 18:00 Uhr in der ersten Gruppe (ACDF) in absteigender, in der zweiten Gruppe (BEGH) in aufsteigender Konzentration im Cross-Over-Design zugeführt. Mit Hilfe dieses Cross-Over-Designs sollten eventuell auftretende Gewöhnungseffekte ausgeglichen werden.

3.1.7. Physiologische Daten

Die Beschreibung der physiologischen Daten ist hier der Vollständigkeitshalbe aufgeführt, um den tatsächlichen Umfang der PSD Studie zu beschreiben. Ihre genaue Aus-

wertung und Analyse erfolgte in einer eigenen Dissertation [Mauss, 2004]. Objektive Daten zur Schlafdauer und -qualität wurden während der gesamten Studiendauer über die Polysomnographie gewonnen und nach den Kriterien von Rechtschaffen und Kales ausgewertet. Dazu wurden die Ströme aus der Elektroenzephalographie (EEG), Elektrookulographie (EOG) sowie Elektromyographie (EMG) aufgezeichnet. Subjektive Daten zur Schlafqualität und Ermüdung wurden mittels der Stanford-Sleepiness-Skala [Hoddes u. a., 1973] und einer Ermüdungs-Checkliste nach Samn und Pirelli [1982] erfasst. Mit Hilfe von Aktometern wurden kontinuierlich Daten zur motorischen Aktivität gewonnen. Dieses Messinstrument, das wie eine Armbanduhr am nicht-dominanten Handgelenk getragen wurde, zeichnet Bewegungen auf und erlaubt so eine Aussage über die Schlaftiefe und -qualität, sowie die körperliche Anstrengung am Tag. Die Körpertemperatur der Probanden wurde unter Verwendung von flexiblen Rektalsonden gemessen. Die Untersuchung der biochemischen Parameter Natrium, Kalium und 6-OH-Melatoninsulfat erfolgte in nichtinvasiver Weise aus Urinproben. Hierzu wurden während der gesamten 12-tägigen Versuchsdauer die Gesamt-Urine der Probanden in regelmäßigen Abständen (2- oder 3-stündlich während der Wachphasen) gesammelt und analysiert.

3.2. Messung der Leistungsfähigkeit

Die Spezifikation der AGARD-STRES-BATTERY [AGARD, 1989] bildet die Grundlage für ein Computerprogramm, das ein Subset aus den sieben spezifizierten Aufgabentypen realisiert. Eine computergestützte Ausführung der AGARD-STRES-Battery wurde mit Hilfe der Testsoftware- Entwicklungsumgebung ERTS (Experimental Run Time System) der Firma Berisoft (Quelle: „`http://www.erts.de`“) am DLR Institut für Luft- und Raumfahrtpsychologie in Hamburg entsprechend folgender Anforderungen erstellt:

- Die Standard-Aufgabenstellung soll auf dem Bildschirm des Computer-Monitors präsentiert werden.
- Die Stimulus-Anzeige soll entsprechend der Aufgabenbeschreibung erfolgen.
- Die Information zu den Bedingungen, unter denen die Aufgabe durchgeführt wurde (z.B. die Uhrzeit, das Datum oder auch die Parameter des Schwierigkeitsgrades) und die erbrachten Leistungsdaten sollen auf der Festplatte des Computers gespeichert werden.

Lauffähig ist das Computerprogramm unter dem Betriebssystem MSDOS (Microsoft Disk Operating System). Der Einfachheit halber wird diese Software als AGARD-STRES-BATTERY bezeichnet. Durch die Einhaltung der Spezifikation sollen *Standardbedingungen* für die Durchführung und Auswertung der Testreihen geschaffen werden. Die Aufgabenstellung wird auf einem Standard-Monitor mit vorgegebenen Einstellungen (wie z.B. Bildschirmgröße, Auflösung, Kontrast, Helligkeit) präsentiert. Die Abarbeitung der einzelnen Aufgaben erfolgt entweder über die Standard-Tastatur oder -Maus als Eingabemedien des Rechners oder spezielle Eingabe-Elemente (Joysticks, Tastaturfelder) (Einzelarbeitsplatz, Abb. 3.2).

Abb. 3.2.: Das linke Bild zeigt einen Probanden am Arbeitsplatz *AGARD-STRES-Battery*. Rechts ist eine schematische Darstellung des Arbeitsplatzes bestehend aus einem Monitor als Ausgabegerät und der Tastatur bzw. dem Joystick als Eingabegeräte abgebildet. Der Proband wird unter Einfluss des Stressors *Hypoxie* getestet. Er trägt daher eine Atemmaske, über die ein Sauerstoff/Helium-Gemisch einströmt.

3.2.1. AGARD2EXCEL

Neben der Durchführung und Auswertung der PSD Studie bestand eine wichtige Teilaufgabe der Doktorarbeit im Entwurf und der Implementierung eines Auswerte-Programms zur automatisierten Nachverarbeitung der generierten Einzeldateien. In diesen Einzeldateien wurden während einer Sitzung der Probanden an der AGARD-STRES-Battery die Ergebnisse der Leistungstest protokolliert. In der PSD Studie kamen während der Trainingsphase 1.920 Textdateien (8 Probanden * 40 Sitzungen * 6 Tests) und der Versuchsphase 2.976 Textdateien (8 Probanden * 62 Sitzungen * 6 Tests) mit Leistungsdaten zusammen. Eine manuelle Auswertung von diesen fast 5.000 Dateien wäre ohne dieses Auswerte-Programm sehr zeitintensiv und fehleranfällig gewesen.

Daher musste zunächst eine Software programmiert werden, die eine benutzerfreundliche Nachverarbeitung der Ergebnisdaten ermöglicht. Als Entwicklungsumgebung wurde Excel™, das Tabellenkalkulationsprogramm der Firma Microsoft, ausgewählt. Excel™ bietet den Vorteil der Erweiterbarkeit, d.h. ein Benutzer kann neue Funktionen - integrierte Makros oder benutzerdefinierte Methoden - hinzufügen. Grundlage hierfür ist die Programmiersprache Visual Basic für Anwendungen (VBA), ein hoch entwickelter Dialekt der Sprache Basic (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code).

Diese Software, im Folgenden als AGARD2EXCEL bezeichnet, soll statistische Aussagen zu der Leistungsfähigkeit von Probanden auf der Basis quantitativer Einzelfallanalysen zulassen. Der Name AGARD2EXCEL (ausgesprochen als „Agard to Excel“ mit der Ziffer „2“ als Synonym für „to“ oder auf Deutsch „Agard zu Excel“) soll verdeutlichen, dass die Ergebnisse der AGARD-STRES-Battery mit Hilfe dieses Auswerte-Programms gleich als Exceltabellen für eine Statistik zur Verfügung stehen.

Bei der Programmierung wurde auf eine leichte Anpassbarkeit auf unterschiedliche Sets aus der AGARD-STRES-Battery geachtet. So konnte AGARD2EXCEL mit leichten Modifikationen für weitere Studien am DLR eingesetzt werden, u.a. zu Untersuchungen zur Auswirkungen verkürzter Schlafdauer [Elmenhorst, 2004; Elmenhorst u. a., 2009] oder von Nachtfluglärm (Study on Human Specific Response to Aircraft Noise, STRAIN) [Samel u. a., 2005] auf die Leistungsfähigkeit.

Das Benutzerhandbuch zur Bedienung und Funktionsweise von AGARD2EXCEL findet sich im Anhang (siehe Seite 125). Die komplette Auflistung aller Module, die das Auswerte-Programm bilden, ist angefügt.

3.2.2. Trainings- und Testmodus

Die computergestützte Form der AGARD-STRES-BATTERY bietet sowohl eine Trainings- als auch die eigentliche Testumgebung an. In der Trainingsumgebung können die Probanden die Aufgaben soweit üben, bis ein stabiles Lern-Plateau erreicht wird. Für eine valide Überprüfung der Leistungsfähigkeit unter Einfluss verschiedener Stressoren müssen Lerneffekte ausgeschlossen werden. Das Trainings-Programm bietet ein

Auswahlmenü für maximal 15 Probanden, die über die Buchstaben L bis Z kodiert werden. Die einzelnen Leistungsaufgaben der AGARD-STRES-Battery können in zwei unterschiedlichen Reihenfolgen gestellt werden. So ist der Testdurchlauf - Satzverifikation (GRT), Gedächtnissuche (MST), Instabiles Tracking (UTT), Doppelaufgabe (DUT) oder DUT, UTT, MST, GRT - möglich. Nach den AGARD-Aufgaben werden die sechs TLX-Skalen angezeigt (Skalenbereich: 0 - 20). Danach wird ein Vigilanztest nach der Beschreibung von Dinges [Dinges und Powell, 1985] (im Menü als „Reaktionsaufgabe“ bezeichnet) gestartet. Nach jeder Leistungsaufgabe erfolgt eine Rückmeldung der wichtigsten Leistungsparameter. Damit das Training flexibel gestaltet werden kann (z.B. Überspringen des TLX-Ratings oder der sehr zeitaufwändigen Dinges-Aufgabe) gibt es im Aufgabenmenü eine „ENDE“-Option. Die Datenabspeicherung erfolgt auf der Festplatte (z.B. unter den Pfaden „c:\psd\tradaten“ und „a:\“).

Das Test-Programm ist für die eigentlichen Experimentaldurchgänge (einschließlich der Baseline-Erhebung) gedacht. Es bietet ein Auswahlmenü für maximal 8 Probanden, die mit den Buchstaben A bis H kodiert werden. Im Gegensatz zu der Trainingssoftware erfolgt kein Leistungsfeedback nach der Aufgabenbearbeitung. Außerdem gibt es keine Abbruch-Option, sondern das Programm wird erst mit Beendigung der Bearbeitung der Dinges-Aufgabe beendet. In der PSD Studie wurde die erste Variante mit den Durchgängen GRT, MST, UTT und DUT gewählt. Gefolgt von TLX und der Dinges Aufgabe. Die Ergebnisdaten werden auf der Festplatte abgelegt. Davor wurden die Probanden zunächst einer Trainingsphase unterzogen. Das jeweilige Studiendesign wird nachfolgend beginnend mit der Einfach-Reaktionszeitaufgabe (modifiziert nach Dinges) vorgestellt.

3.2.3. SRT - Single Reactiontime Task

Der Reaktionstest auf einen Einzelreiz (engl. Single Reactiontime Task, SRT) testet die Aufmerksamkeit und Vigilanz einer Versuchsperson auf einen Einzelreiz. Abweichend von der Aufgabenspezifikation der AGARD-STRES-Battery wird in unserem Versuchsaufbau eine spezielle Variante nach Dinges [Dinges und Powell, 1985] verwendet, wonach der Stimulus aus Ziffern, die eine von 0 bis 800 ms hochlaufende digitale Stoppuhr (Abb. 3.3) simulieren, besteht. Sobald der Proband das Signal sieht, stoppt er die Uhr durch einen Tastendruck. Nach erfolgter Reaktion wird die erreichte Zeit gemessen und dem Probanden aus Motivationsgründen für 3 sec auf dem Monitor angezeigt. Nach dem Zufallsintervall erscheint dann der nächste Stoppuhrlauf. Die Dauer des Tests beträgt 10 min. Diese Variante einer Einfach- Reaktionszeitaufgabe misst die Reaktionsfähigkeit auf einen Einzelreiz (engl. Single Reaction Task, SRT). Aufmerksamkeit und Vigilanz des Probanden sollen so getestet werden.

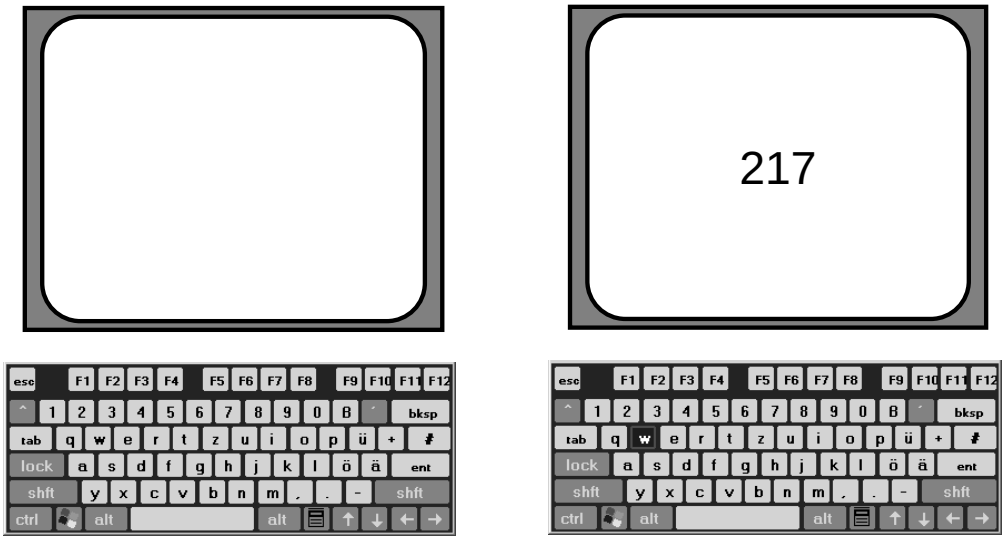


Abb. 3.3.: Bildschirmpräsentation des Single Reaction Task (SRT). In unserem Versuchsaufbau wurde eine spezielle Variante nach Dinges [Dinges und Powell, 1985] verwendet, wonach der Stimulus aus Ziffern, die eine von 0 bis 800 ms hochlaufende digitale Stoppuhr simulieren. Sobald der Proband das Signal sieht, stoppt er die Uhr durch einen Tastendruck (z.B. Taste W). Nach erfolgter Reaktion wird die erreichte Zeit gemessen und dem Probanden aus Motivationsgründen für 3 sec auf dem Monitor angezeigt. Nach einem Zufallsintervall von bis zu 10s erscheint dann der nächste Stoppuhrlauf.

Beim SRT gibt es zwei verschiedene Fehlerarten, die durch falsche Reaktionen des Probanden verursacht werden können:

1. Der Proband drückt auf die Reaktionstaste, noch bevor das Signal erscheint. Dieser Fehler (der in der AGARD-STRES-Battery als F1=6 nummeriert ist) wird in der AGARD2EXCEL-Software unter der Spalte „Fehler“ geführt.

2. Der Proband verpasst es, innerhalb von 500ms auf die Reaktionstaste zu drücken. Dieser Fehler (der in der AGARD-STRES-Battery als F1=10 nummeriert ist) wird in der AGARD2EXCEL-Software unter der Spalte „Lapses“ geführt.

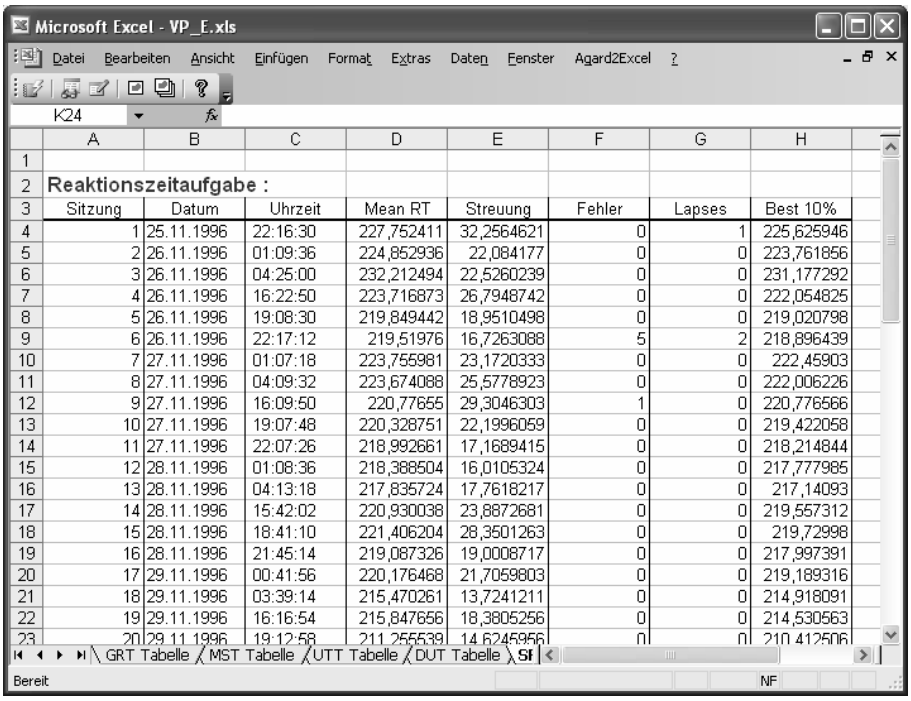
Als Beispiel für eine von der AGARD-STRES-Battery generierte Ausgabedatei einer Reaktionszeitaufgabe wurde die Datei ESRTEX45.dat aus der 45. Sitzung des Probanden E gewählt (siehe Abbildung 3.4).

```
;    ERTS     : V3.17  ======================================================
;    Lizenz   : DLR-Köln, Institut für Luft- und Raumfahrt, Medizin
;    Sitzung  : DD
;    Datum    : Dienstag, den  3. Dezember 1996
;    Zeit     : 15:51:36
;    Aufruf   : /EXQK SrtPSD.exp =c:\PSD\expdaten\ESRTEX45.dat /1 +E45
;    Monitor  : EGA 640x350 (235x170 mm) mit 60.0 Hz
;    ---------------------------------------------------------------------------
 Sitz-ID Vp  Blk Zeit  Spez Trl  F1 Ant R1      T1
 E45     1   1   15.51 1    1    0  0   0       0
 E45     1   2   15.51 1    1    2  1   217.9   -
 E45     1   2   15.51 1    2    2  1   214.4   -
 E45     1   2   15.51 1    3    2  1   265.0   -
 E45     1   2   15.51 1    4    6  1   69.0    -
 E45     1   2   15.51 1    5    2  1   255.3   -
 E45     1   2   15.51 1    6    2  1   237.3   -
 E45     1   2   15.51 1    7    2  1   235.7   -
 E45     1   2   15.51 1    8    10 1   891.2   -
 E45     1   2   15.51 1    9    2  1   230.4   -
 E45     1   2   15.51 1    10   2  1   218.7   -
 E45     1   2   15.51 1    11   2  1   242.3   -
                    .        .     .
                    .        .     .
                    .        .     .
 E45     1   2   15.51 1    41   6  1   76.6    -
 E45     1   2   15.51 1    42   10 1   618.2   -
                    .        .     .
                    .        .     .
                    .        .     .

 E45     1   2   15.51 1    80   2  1   289.6   -
 E45     1   2   15.51 1    81   2  1   142.6   -
 E45     1   2   15.51 1    82   10 1   986.4   -
 E45     1   2   15.51 1    83   10 1   562.4   -
```

Abb. 3.4.: Die Datei ESRTEX45.dat als Beispiel für die Ausgabe einer Reaktionszeit-Sitzung. Sie beinhaltet Angaben zur Sitzung-Nr., Informationen zur Versuchsperson, zum Block, zur Uhrzeit, sowie zur Spezifikation der Aufgabe. Anschließend folgen die variablen Angaben mit der Anzahl der Reaktionstest, die innerhalb einer Sitzung durchgeführt wurden, der Fehlerart und abschließend der gemessenen Reaktionszeit. Insgesamt hat die Versuchsperson E in der 45.Sitzung 83 Reaktionsaufgaben erbracht. Es traten sowohl Fehler als auch Lapses in dieser Sitzung auf.

Mit Hilfe der selbstprogrammierten Software AGARD2EXCEL wurde eine statistische Analyse der Ergebnisdateien aus allen Sitzungen (1-62) des Probanden E durchgeführt. In der Abbildung 3.5 wird die generierte Excel-Datei als Screenshot wiedergegeben. In den Zeilen sind die Sitzungsnummer, das Datum und die Uhrzeit eingetragen. Diese Information wurde automatisch aus der von der AGARD-STRES-Battery generierten Ausgabedatei extrahiert. Danach folgen die statistischen Einzelanalysen mit Angabe des Mittelwertes und der Standardabweichung aus den einzelnen gemessenen Reaktionszeiten der Sitzung. Außerdem wird die Anzahl an Fehlern und Lapses angegeben. Diese Excel-Datei dient später als Grundlage für eine Gruppenanalyse und weitere statistische Auswertungen.



Microsoft Excel - VP_E.xls

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?

K24

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Reaktionszeitaufgabe :							
3	Sitzung	Datum	Uhrzeit	Mean RT	Streuung	Fehler	Lapses	Best 10%
4	1	25.11.1996	22:16:30	227,752411	32,2564621	0	1	225,625946
5	2	26.11.1996	01:09:36	224,852936	22,084177	0	0	223,761856
6	3	26.11.1996	04:25:00	232,212494	22,5260239	0	0	231,177292
7	4	26.11.1996	16:22:50	223,716873	26,7948742	0	0	222,054825
8	5	26.11.1996	19:08:30	219,849442	18,9510498	0	0	219,020798
9	6	26.11.1996	22:17:12	219,51976	16,7263088	5	2	218,896439
10	7	27.11.1996	01:07:18	223,755981	23,1720333	0	0	222,45903
11	8	27.11.1996	04:09:32	223,674088	25,5778923	0	0	222,006226
12	9	27.11.1996	16:09:50	220,77655	29,3046303	1	0	220,776566
13	10	27.11.1996	19:07:48	220,328751	22,1996059	0	0	219,422058
14	11	27.11.1996	22:07:26	218,992661	17,1689415	0	0	218,214844
15	12	28.11.1996	01:08:36	218,388504	16,0105324	0	0	217,777985
16	13	28.11.1996	04:13:18	217,835724	17,7618217	0	0	217,14093
17	14	28.11.1996	15:42:02	220,930038	23,8872681	0	0	219,557312
18	15	28.11.1996	18:41:10	221,406204	28,3501263	0	0	219,72998
19	16	28.11.1996	21:45:14	219,087326	19,0008717	0	0	217,997391
20	17	29.11.1996	00:41:56	220,176468	21,7059803	0	0	219,189316
21	18	29.11.1996	03:39:14	215,470261	13,7241211	0	0	214,918091
22	19	29.11.1996	16:16:54	215,847656	18,3805256	0	0	214,530563
23	20	29.11.1996	19:12:58	211,255539	14,6245956	0	0	210,412506

GRT Tabelle / MST Tabelle / UTT Tabelle / DUT Tabelle / SI

Bereit NF

Abb. 3.5.: Ausgabe AGARD2EXCEL des Reaktionstests auf einen Einzelreiz. In den jeweiligen Zeilen sind die Sitzungsnummer, das Datum und die Uhrzeit sowie Angaben zum Mittelwert, der Standardabweichung, der Anzahl an Fehlern und Lapses angegeben. Außerdem wurden die besten 10 % Reaktionszeiten als Mittelwert errechnet.

3.2.4. GRT - Grammatical Reasoning Task

Die Satzverifikation (*engl.* Grammatical Reasoning Task, GRT) stellt Anforderungen an das logische Denkvermögen [Bradley, 1968]. Auf dem Bildschirm erscheinen entsprechend der Abb. 3.6 die drei Zeichen ‹∗ # & › (ausgesprochen als Stern, Raute, kaufmännisches Und) in einer bestimmten Reihenfolge. Darunter steht eine Aussage, die in Bezug auf die Symbole als richtig oder falsch zu beurteilen ist. Zum Beispiel:

$$\& \; \# \; *$$

$$* \text{ vor } \& \textbf{ und } \# \text{ hinter } *$$

Die Bearbeitung dieser Frage muss in einer festgelegten Zeitspanne (einige Minuten) erfolgen. Wartet der Proband zu lange, springt das Programm zur nächsten Aussage und bewertet die Frage als nicht bearbeitet. Der Wahrheitswert dieser Gesamtaussage (Erste Teilaussage $\leftrightarrow$ Zweite Teilaussage) ergibt sich aus der Äquivalenz oder dem Bikonditional der beiden Teilaussagen (Tabelle 3.7).

Erste Teilaussage	**Zweite Teilaussage**	**Erste Teilaussage $\leftrightarrow$ Zweite Teilaussage**
Wahr	Wahr	Wahr
Wahr	Falsch	Falsch
Falsch	Wahr	Falsch
Falsch	Falsch	Wahr

Tabelle 3.7.: Definition der Äquivalenz (*Symbol:* $\leftrightarrow$) durch eine Wahrheitstafel.

Somit ist die Gesamtaussage genau dann wahr, wenn beide Teilaussagen denselben Wahrheitswert besitzen. Der Proband drückt die Taste ‹W› für „Wahr“, bzw. die Taste ‹D› für „Falsch“. In unserem Beispiel ist die erste Teilaussage ($*$ vor &) falsch, die zweite Teilaussage (# hinter $*$) ebenfalls falsch. Folglich ist die Gesamtaussage wahr. Gemäß diesen Teilaussagen sind zwei verschiedene Fehlerklassen möglich. Die erste Fehlerart tritt auf, wenn beide Teilaussagen denselben Wahrheitswert besitzen, aber der Proband sie als verschieden auswählt (Fehler bei gleichem Wahrheitswert). Die zweite Fehlerart ist dadurch gekennzeichnet, dass beide Teilaussagen differente Wahrheitswerte beinhalten, aber der Proband sie als gleich auswählt (Fehler bei verschiedenen Wahrheitswerten).

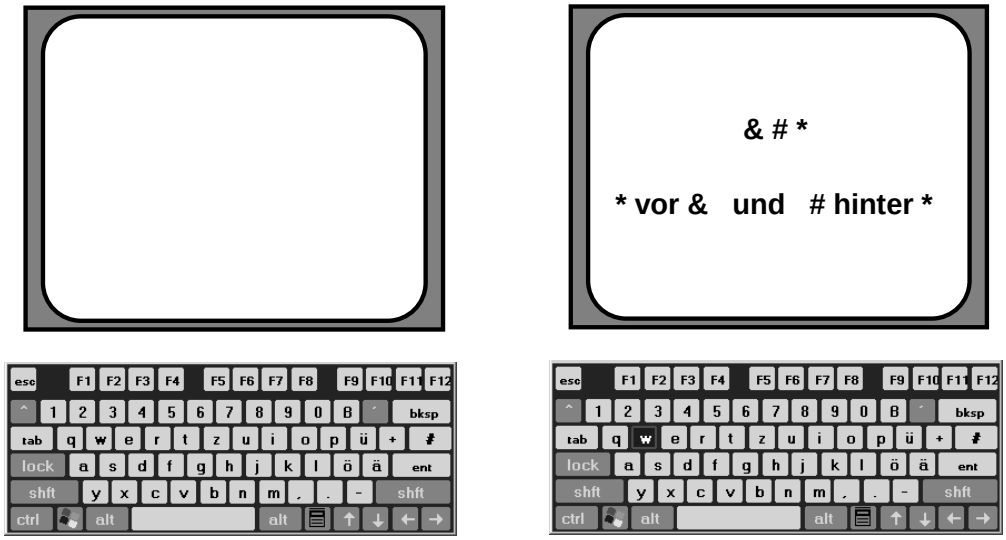


Abb. 3.6.: Bildschirmpräsentation des Grammatical Reasoning Task, GRT. In diesem Beispiel erscheint auf dem Bildschirm die Reihenfolge ‹& # $*$ › und als Aussage $*$ vor & **und** # hinter $*$. Die korrekte Antwort ist in diesem Fall „Gleich“, da die erste Teilaussage ($*$ vor &) falsch, die zweite Teilaussage (# hinter $*$) ebenfalls falsch ist. Bei einer korrekten Antwort drückt der Proband auf die Taste „W“ für gleich und damit wahr. Die Bearbeitung dieser Frage muss in einer festgelegten Zeitspanne (in dieser Studie wurden als Gesamtzeit 3 min festgelegt) erfolgen. Wartet der Proband zu lange, springt das Programm zur nächsten Aussage und bewertet die Frage als nicht bearbeitet. Neben der Zeit wird auch die Fehlerrate bestimmt. Dieser Test überprüft das schlussfolgernde Denken.

In der Literatur sind verschiedene Formen der Satzverifikation aufgeführt. So hat Wason [1961] Probanden Sätze präsentiert, die eine Zahl als gerade oder ungerade bezeichnen. Eine Aussage, wie „76 ist eine gerade Zahl“ (wahre positive Aussage) bzw. „76 ist keine ungerade Zahl“ (wahre negative Aussage) mussten auf ihren Wahrheitswert beurteilt werden.

Tabelle 3.8 zeigt alle möglichen Kombinationen (insgesamt 32) von Teilaussagen und den Wahrheitswert der Gesamtaussage.

Als Beispiel für eine von der AGARD-STRES-Battery generierte Ausgabedatei einer Satzverifikationsaufgabe wurde die Datei AGRTEX01.dat aus der 1. Sitzung des Probanden A gewählt (siehe Abbildung 3.7). Die mittels AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei ist in der Abbildung 3.8 als Screenshot wiedergegeben. In den Zeilen sind die Sitzungsnummer, das Datum und die Uhrzeit eingetragen.

Stimulus Nummer	Erste Teilaussage			W/F	Zweite Teilaussage			W/F	Reihenfolge der Symbol	Korrekte Antwort
1	*	vor	&	W	&	vor	#	W	* & #	Gleich
2	#	vor	*	W	&	vor	#	W	& # *	Gleich
3	*	vor	#	F	&	vor	*	F	# * &	Gleich
4	*	vor	&	F	&	vor	#	F	# & *	Gleich
5	*	vor	#	W	&	hinter	#	W	* # &	Gleich
6	#	hinter	*	W	&	vor	*	W	& * #	Gleich
7	#	vor	&	F	#	hinter	*	F	& # *	Gleich
8	*	hinter	&	F	&	vor	#	F	# * &	Gleich
9	&	hinter	*	W	&	vor	#	W	* & #	Gleich
10	#	vor	&	W	#	hinter	*	W	* # &	Gleich
11	#	hinter	&	F	*	vor	&	F	# & *	Gleich
12	#	vor	*	F	&	hinter	*	F	& * #	Gleich
13	#	hinter	*	W	&	hinter	#	W	* # &	Gleich
14	#	hinter	*	W	*	hinter	&	W	& * #	Gleich
15	*	hinter	&	F	&	hinter	#	F	* & #	Gleich
16	#	hinter	*	F	&	hinter	#	F	& # *	Gleich
17	#	vor	*	W	&	vor	*	F	# * &	Verschieden
18	*	vor	&	F	#	vor	&	W	# & *	Verschieden
19	#	vor	*	F	#	vor	&	W	* # &	Verschieden
20	*	vor	#	W	*	vor	&	F	& * #	Verschieden
21	&	vor	#	W	#	hinter	*	F	& # *	Verschieden
22	&	hinter	#	F	*	vor	&	W	* & #	Verschieden
23	#	vor	*	F	&	hinter	#	W	* # &	Verschieden
24	&	hinter	*	W	&	vor	#	F	# * &	Verschieden
25	&	hinter	#	W	*	vor	&	F	# & *	Verschieden
26	#	vor	*	F	*	hinter	&	W	& * #	Verschieden
27	*	hinter	&	F	&	vor	#	W	* & #	Verschieden
28	*	vor	&	W	#	hinter	*	F	# * &	Verschieden
29	#	hinter	&	W	#	hinter	*	F	& # *	Verschieden
30	&	hinter	*	F	&	hinter	#	W	# & *	Verschieden
31	&	hinter	*	F	#	hinter	*	W	& * #	Verschieden
32	&	hinter	#	W	*	hinter	#	F	* # &	Verschieden

Tabelle 3.8.: Auflistung aller möglichen 32 Kombinationen von Teilaussagen im GRT. Wenn beide Teilaussagen wahr (W) oder falsch (F) sind, ist die korrekte Antwort „Gleich“, ansonsten „Verschieden“. Die Tabelle wurde nach gleichen und verschiedenen Antwortmöglichkeiten aufgeteilt. Modifiziert nach [AGARD, 1989].

```
;    ERTS     : V3.17  ========================================================
;    Lizenz   : DLR-Köln, Institut für Luft- und Raumfahrt, Medizin
;    Sitzung  : AGARD-Subtest #6: GRAMMATICAL REASONING
;    Datum    : Montag, den 25. November 1996
;    Zeit     : 15:03:25
;    Aufruf   : /EXQK GrtPSD.exp =c:\PSD\expdaten\AGRTEX01.dat /1 +A01
;    Monitor  : EGA 640x350 (221x166 mm) mit 60.0 Hz
;    ---------------------------------------------------------------------------
 Sitz-ID Vp  Blk Zeit  Spez Trl  F1 Ant R1      T1     Spez-ID
 A01     1   1   15.03 7    1    2  1   2699.3  W      F F
 A01     1   1   15.03 17   2    2  1   1627.4  D      T F
 A01     1   1   15.03 14   3    2  1   2136.5  W      T T
 A01     1   1   15.03 5    4    2  1   2188.1  W      T T
 A01     1   1   15.03 10   5    2  1   2065.4  W      T T
 A01     1   1   15.03 29   6    2  1   1739.2  D      T F
 A01     1   1   15.03 11   7    2  1   2197.4  W      F F
 A01     1   1   15.03 6    8    2  1   1659.5  W      T T
 A01     1   1   15.03 8    9    2  1   2473.4  W      F F
 A01     1   1   15.03 4    10   2  1   2093.2  W      F F
 A01     1   1   15.03 15   11   2  1   2382.6  W      F F
 A01     1   1   15.03 13   12   2  1   1401.4  W      T T
 A01     1   1   15.03 2    13   2  1   1912.7  W      T T
 A01     1   1   15.03 23   14   2  1   2534.8  D      F T
 A01     1   1   15.03 31   15   2  1   1971.6  D      F T
 A01     1   1   15.03 22   16   2  1   2224.9  D      F T
 A01     1   1   15.03 9    17   2  1   2072.6  W      T T
 A01     1   1   15.03 19   18   2  1   2832.6  D      F T
 A01     1   1   15.03 21   19   2  1   2016.4  D      T F
 A01     1   1   15.03 1    20   2  1   1981.4  W      T T
 A01     1   1   15.03 16   21   2  1   3918.1  W      F F
 A01     1   1   15.03 24   22   2  1   2082.4  D      T F
 A01     1   1   15.03 25   23   2  1   1914.8  D      T F
 A01     1   1   15.03 3    24   2  1   2757.0  W      F F
 A01     1   1   15.03 26   25   2  1   1837.2  D      F T
 A01     1   1   15.03 20   26   2  1   3544.4  D      T F
 A01     1   1   15.03 32   27   2  1   2428.6  D      T F
                       .    .    .
                       .    .    .
                       .    .    .
 A01     1   1   15.03 25   52   1  1   2052.0  W      T F
 A01     1   1   15.03 6    53   2  1   1952.7  W      T T
 A01     1   1   15.03 27   54   2  1   3676.1  D      F T
 A01     1   1   15.03 22   55   2  1   2516.5  D      F T
```

Abb. 3.7.: Die Datei AGRTEX01.dat als Beispiel für eine Satzverifikation Ergebnisdatei. In dieser Textdatei sind neben den Angaben zur Versuchsperson und der Sitzung weitere Daten zur gestellten Aufgabe (Spez) als eine von 32 Kombinationen, der Reaktionszeit des Probanden und seiner Wahlantwort aufgeführt. Bei dieser self-paced Aufgabe richtet sich die Anzahl an möglichen Testaufgaben (Trl) innerhalb einer Sitzung nach den Reaktionszeiten des Probanden. Somit sind die beiden Parameter Reaktionszeit und Fehlerrate in einem gewissen Maße voneinander abhängig.

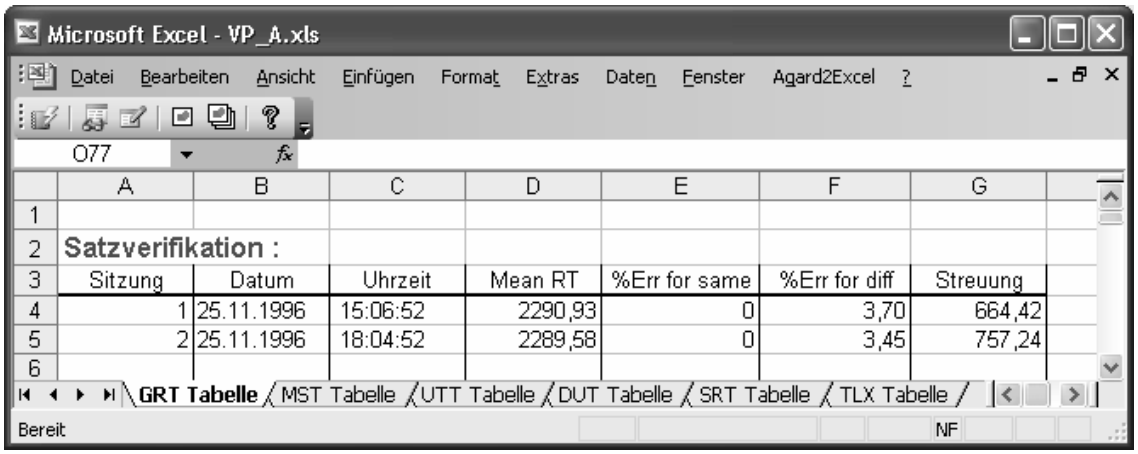

Microsoft Excel - VP_A.xls
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?
O77
Satzverifikation :
Sitzung Datum Uhrzeit Mean RT %Err for same %Err for diff Streuung
1 25.11.1996 15:06:52 2290,93 0 3,70 664,42
2 25.11.1996 18:04:52 2289,58 0 3,45 757,24
GRT Tabelle MST Tabelle UTT Tabelle DUT Tabelle SRT Tabelle TLX Tabelle
Bereit
NF

Abb. 3.8.: Ausgabe AGARD2EXCEL der Ergebnisse einer Sitzung zur Satzverifikation. In den jeweiligen Zeilen sind die Sitzungsnummer, das Datum und die Uhrzeit sowie Angaben zum Mittelwert der Reaktionszeiten (Mean RT), der Streuung, der Anzahl an Fehlern für Gleich (% Err for same) und Verschieden (% Err for diff) angegeben.

3.2.5. MST - Memory Search Task

Die Gedächtnissuche (*engl.* Memory Search Task, MST) testet das Kurzzeitgedächtnis. Es handelt sich beim MST um eine Diskriminationszeitaufgabe. Entsprechend dem von Sternberg [1966, 1975] entwickelten Paradigma der Gedächtnissuche wird dabei die Reaktionszeit gemessen. Der Proband prägt sich z.B. eine Reihenfolge von Buchstaben (=Positiv-Set) ein. Nach einer Pause startet der eigentliche Test. Ein Buchstabe (Testitem) erscheint auf dem Bildschirm (siehe Abb. 3.9). Der Proband muss so schnell wie möglich entscheiden, ob das Testitem zum Positiv-Set gehört oder nicht. Die Reaktion erfolgt durch einen Tastendruck (Taste W für ja bzw. Taste D für nein). Gemessen wird die Reaktionszeit, beginnend mit der Darbietung des Testitems. Außerdem wird die Fehlerrate gezählt. Dabei wird zwischen einer positiven (Testitem gehörte dem Positiv-Set an und wurde nicht erkannt) und negativen (Testitem gehörte nicht dem Positiv-Set an und wurde fälschlicherweise erkannt) Fehlerrate unterschieden.

Unmittelbar nach der Reaktion erscheint ein neues Testitem (self-paced - Prinzip). Dies entspricht der Vorgehensweise mit festem Positiv-Set im Gegensatz zum variablen Modus, bei dem nach jeder Reaktion ein neues Positiv-Set einzuprägen ist. Bei Überschreitung der vorgegebenen Bedenkzeit von 3 Minuten springt das Programm zur nächsten Aussage und bewertet die Frage als nicht bearbeitet. Somit wird die Gesamtanzahl der Einzeltests ähnlich wie beim GRT durch den Probanden bestimmt. Auch bei dieser self-paced Aufgabe sind die beiden Parameter Reaktionszeit und Fehlerrate in einem gewissen Maße voneinander abhängig.

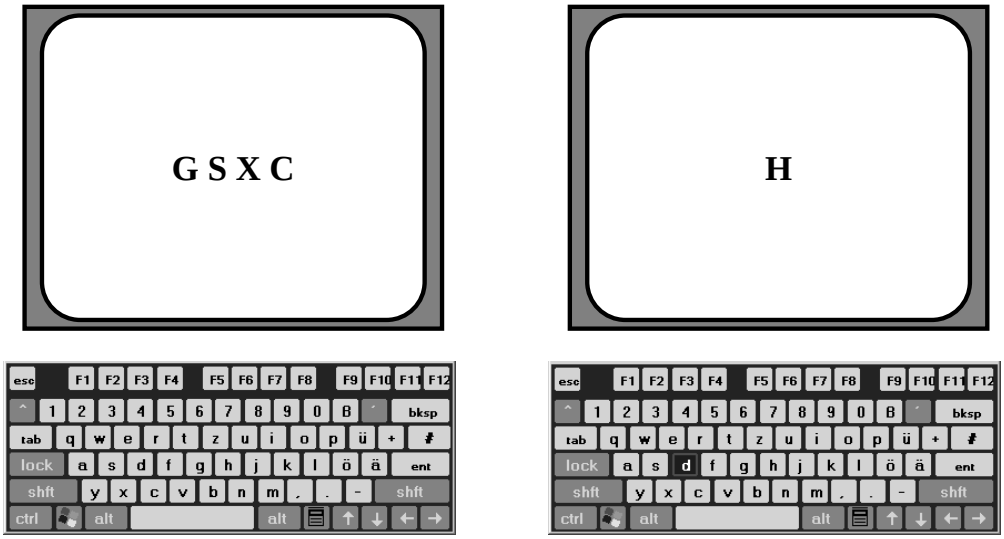


Abb. 3.9.: Bildschirmpräsentation des Memory Search Task, MST. Dieser Leistungstest stellt Anforderungen an das Kurzzeitgedächtnis. Grundlage ist das von Sternberg [1966, 1975] entwickelte Paradigma der Gedächtnissuche. Der Proband prägt sich z.B. eine Reihenfolge von Buchstaben (=Positiv-Set) ein. Nach einer Pause erscheint ein Buchstabe (Testitem) auf dem Bildschirm. Aufgabe des Probanden ist es, so schnell wie möglich zu entscheiden, ob das Testitem zum Positiv-Set gehört oder nicht. Gemessen wird die Reaktionszeit, beginnend mit dem Einblenden des Buchstaben und die Anzahl der positiven und negativen Fehler. Unmittelbar nach der Reaktion erscheint ein neues Testitem (self-paced - Prinzip). Bei Überschreitung der vorgegebenen Gesamtzeit von 3 Minuten springt das Programm zur nächsten Aussage und bewertet die Frage als nicht bearbeitet.

Die Schwierigkeit dieses Tests wird über die Anzahl der Buchstaben im Positiv-Set bestimmt. Nach Sternberg steigt die mittlere Reaktionszeit linear mit der Anzahl eingeprägter Buchstaben also der Größe des Positiv-Set an. In unseren Studien wurde eine Set-Größe von 4 Buchstaben gewählt. Die Testbuchstaben für die Auswahl eines Positiv-Sets besitzen dieselbe Auftretenswahrscheinlichkeit und werden innerhalb der Testserie balanciert zufällig dargeboten. Der self-paced Modus der Aufgabe induziert eine hohe Ereignisdichte. Als Beispiel für eine von der AGARD-STRES-Battery generierte Ausgabedatei einer Aufgabe zur Gedächtnissuche wurde die Datei AMSTEX01.dat aus der 1.Sitzung des Probanden A gewählt (siehe Abbildung 3.10). Die mittels AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei ist in der Abbildung 3.11 als Screenshot wiedergegeben.

```
;    ERTS     : V3.17  ========================================================
;    Lizenz   : DLR-Köln, Institut für Luft- und Raumfahrt, Medizin
;    Sitzung  : AGARD-Subtest #3: MEMORY SEARCH TASK
;    Datum    : Montag, den 25. November 1996
;    Zeit     : 15:07:02
;    Aufruf   : /EXQK MstPSD.exp =c:\PSD\expdaten\AMSTEX01.dat /1 +A01
;    Monitor  : EGA 640x350 (221x166 mm) mit 60.0 Hz
;    ------------------------------------------------------------------------
 Sitz-ID Vp  Blk Zeit  K1  Spez Trl  F1 Ant R1      T1     L1
 A01     1   1   15.07 4   1    1    2  1   1484.0  D      1001
 A01     1   1   15.07 4   1    2    2  1   612.4   D      3536
 A01     1   1   15.07 4   2    3    2  1   439.0   W      5204
 A01     1   1   15.07 4   1    4    2  1   499.6   D      6705
 A01     1   1   15.07 4   2    5    1  1   442.3   D      8240
 A01     1   1   15.07 4   1    6    2  1   992.7   D      9741
 A01     1   1   15.07 4   1    7    2  1   570.5   D      11776
 A01     1   1   15.07 4   2    8    2  1   557.3   W      13410
 A01     1   1   15.07 4   1    9    2  1   463.0   D      15012
 A01     1   1   15.07 4   1    10   2  1   504.9   D      16513
 A01     1   1   15.07 4   2    11   2  1   383.1   W      18081
 A01     1   1   15.07 4   1    12   2  1   467.0   D      19515
 A01     1   1   15.07 4   1    13   2  1   453.2   D      21050
 A01     1   1   15.07 4   1    14   2  1   404.3   D      22551
 A01     1   1   15.07 4   2    15   2  1   584.0   W      24019
 A01     1   1   15.07 4   1    16   2  1   416.6   D      25653
 A01     1   1   15.07 4   1    17   2  1   421.0   D      27121
 A01     1   1   15.07 4   2    18   2  1   460.2   W      28589
 A01     1   1   15.07 4   2    19   2  1   519.6   W      30090
 A01     1   1   15.07 4   1    20   2  1   494.8   D      31658
 A01     1   1   15.07 4   2    21   2  1   645.1   W      33193
 A01     1   1   15.07 4   1    22   2  1   486.8   D      34894
 A01     1   1   15.07 4   1    23   2  1   438.2   D      36428
 A01     1   1   15.07 4   1    24   2  1   563.4   D      37930
 A01     1   1   15.07 4   1    25   2  1   476.6   D      39531
 A01     1   1   15.07 4   2    26   2  1   469.0   W      41065
 A01     1   1   15.07 4   1    27   2  1   577.0   D      42600
                       .     .     .
                       .     .     .
                       .     .     .
 A01     1   1   15.07 4   2    115  2  1   366.7   W      176872
 A01     1   1   15.07 4   2    116  2  1   502.5   W      178273
 A01     1   1   15.07 4   2    117  2  1   373.3   W      179841
```

Abb. 3.10.: Die Datei AMSTEX01.dat als Beispiel für eine Gedächtnissuche Ergebnisdatei. Neben der Reaktionszeit (R1) wird das Auftreten eines positiven oder negativen Fehlers (1 oder 2 unter der Spalte Spez) entsprechend der Wahl des Probanden (W oder D unter der Spalte T1) protokolliert.

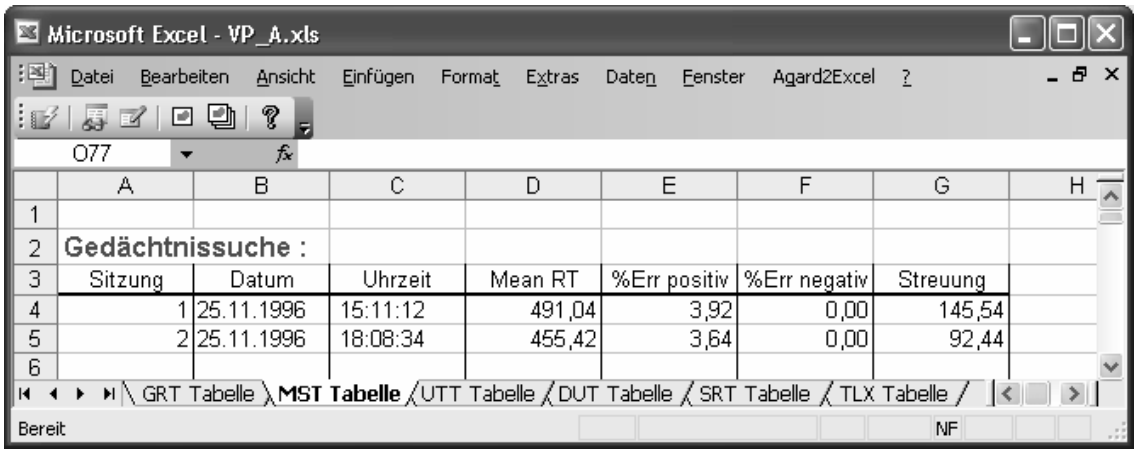

Microsoft Excel - VP_A.xls
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?
O77
Gedächtnissuche :
Sitzung | Datum | Uhrzeit | Mean RT | %Err positiv | %Err negativ | Streuung
1 | 25.11.1996 | 15:11:12 | 491,04 | 3,92 | 0,00 | 145,54
2 | 25.11.1996 | 18:08:34 | 455,42 | 3,64 | 0,00 | 92,44
GRT Tabelle | MST Tabelle | UTT Tabelle | DUT Tabelle | SRT Tabelle | TLX Tabelle
Bereit
NF

Abb. 3.11.: AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum MST. Diese Datei zeigt für jede Sitzung den Mittelwert der Reaktionszeit mitsamt der Streuung an. Daneben werden die positiven oder negativen Fehler als Prozentangabe zu den gestellten Aufgaben einer Sitzung berechnet.

3.2.6. UTT - Unstable Tracking Task

Das Nachführen (Unstable Tracking Test, UTT) misst die Leistungsfähigkeit bei einer kontinuierlichen motorischen Aufgabenstellung. Mit diesem Test werden Anforderungen an die Feinmotorik gestellt. In einem markierten Zielbereich in der Mitte des Bildschirms (Abb. 3.12) erscheint ein Balken, der ohne Korrektur durch den Probanden mit einer charakteristischen Dynamik zum rechten oder linken Bildschirmrand ausschwenkt.

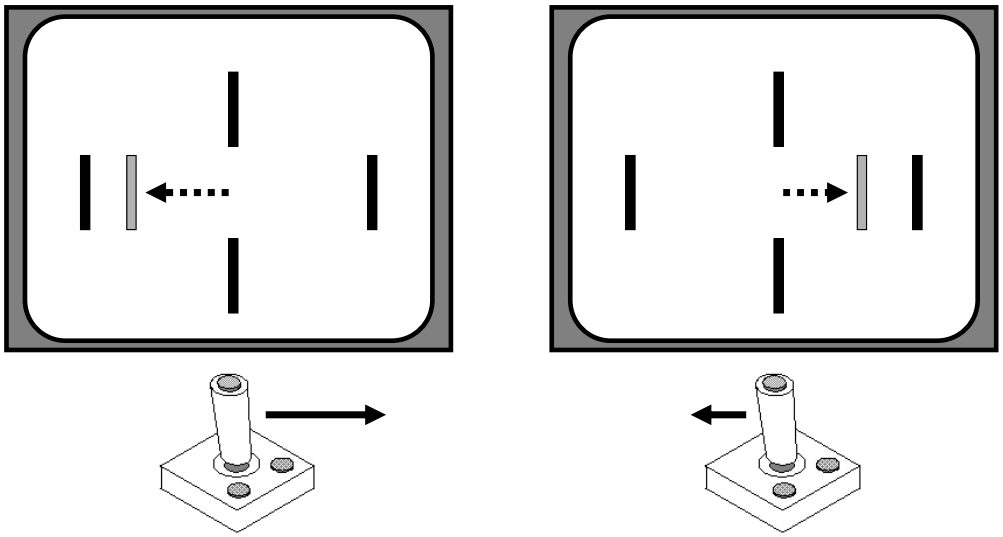


Abb. 3.12.: Bildschirmpräsentation des Unstable Tracking Task, UTT. Dieser Leistungstest stellt Anforderungen an die Feinmotorik. In einem markierten Zielbereich in der Mitte des Bildschirms erscheint ein Balken, der ohne Korrektur durch den Probanden mit einer charakteristischen Dynamik zum rechten oder linken Bildschirmrand ausschwenkt. Der Probanden hat dieser Bewegung entgegen zu steuern und den Balken möglichst nahe an der Zielmarkierung in der Mitte des Bildschirms zu halten. Wenn der Proband mit dem Balken eine der Begrenzungslinien erreicht, wird dieses Ereignis als Kontrollverlust gewertet. Unmittelbar nach einem Kontrollverlust erscheint der Balken wieder in der Mitte des Bildschirms, und die Aufgabe beginnt von Neuem. Als Leistungsmaß werden die über die Zeit summierten Abweichungen des Balkens vom Zielbereich (= mittlere absolute Trackingabweichungen) und die Anzahl der Kontrollverluste erhoben.

Die Aufgabe des Probanden ist es, dieser Bewegung entgegen zu steuern und den Balken möglichst nahe an der Zielmarkierung in der Mitte des Bildschirms zu halten. Dazu bedient er einen Joystick als Eingabegerät. Das System ist inhärent instabil, da sowohl die Geschwindigkeit als auch die Position der Joystick-Steuerung als Verstärkungsfaktor in die Auslenkung des Balkens mit einfließt. Wenn der Proband mit dem Balken eine der Begrenzungslinien erreicht, wird dieses Ereignis als Kontrollverlust gewertet. Unmittelbar nach einem Kontrollverlust erscheint der Balken wieder in der Mitte des Bildschirms, und die Aufgabe beginnt von Neuem. Es handelt sich beim UTT um eine Diskriminationszeitaufgabe (der Proband entscheidet, in welche Richtung er den Joystick auslenkt, um den Balken wieder in die Mitte des Bildschirms zurückzulenken). Der UTT, wie er in unseren beiden Studien zum Einsatz kommt, wurde erstmals von Jex, McDonnell und Phatak [1966] entwickelt. Sie haben sich dabei von empirischen Untersuchungen zur Steuerung von Flugzeugen inspirieren lassen, u.a. den Ergebnissen von Ashkenas und McRuer

[1959] zur genauen Regulation von kurzzeitigen statischen Flug-Instabilitäten. Solche Instabilitäten sind eng mit der effektiven, zeitlichen Verzögerung der Gegensteuerung durch den Piloten gekoppelt. Ashkenas und McRuer konnten zeigen, dass eine gesteigerte Fehlerrate im System auch zu verstärkten Verzögerungen führen. In der Folge wiesen Jex und Cromwell [1961] bei drei Testpiloten nach, dass ein Kontrollverlust ab einem bestimmten Grad der statischen Instabilität auftritt. Weitere Studien zu der Dynamik von manuell kontrolliertem Verhalten in der Mensch-Maschine-Interaktion führten schließlich zu dem Entwurf des UTT. Da das Nachführen einem Regelkreis gleicht, haben McRuer und Jex [1967] Methoden der Regelungstechnik angewandt.

Bei einer Regelung wird die zu regelnde Größe (Regelgröße x) fortlaufend gemessen und mit einem vorgegebenen Wert (Führungsgröße w) verglichen. Besteht zwischen diesen beiden Größen eine Differenz (Regeldifferenz e bzw. Regelabweichung xw), so wird abhängig von der gemessenen Differenz ein Verstellvorgang eingeleitet, welcher die Regelgröße mit der Führungsgröße wieder in Übereinstimmung bringen soll. Die Regeldifferenz entsteht entweder durch Änderung der Regelgröße aufgrund von Störeinflüssen oder aber bei variabler Führungsgröße. Kennzeichen der Regelung ist somit ein geschlossener Wirkungsablauf (Rückkopplung).

Das von McRuer und Jex postulierte *Crossover Modell* stellt einen quasi-linearen Ansatz dar: die Antwort des Probanden (Human Operator) auf die Auslenkung des Balkens wird als eine lineare Transfer-Funktion modelliert, obwohl sie im strengen Sinne nicht-linear ist, und eine separate nicht-lineare Residualkomponente, der Rest (engl. Remnant) hinzugefügt. Der Vorteil dieses Modells liegt darin, dass Parameter wie die zeitliche Verzögerung und die Verstärkung, gut mit spezifischen Merkmalen im Kontrollverhalten eines Benutzers in Mensch-Maschine-Interaktionen korrelieren.

$$O(t) = K_S e(t - t_e) \tag{3.2}$$

dabei gilt:

$O(t)$	Reizantwort (*Output*) des Menschen in Abhängigkeit von der Zeit t
K_S	Verstärkung (*Gain*) der Antwort des Menschen
t_e	effektive, zeitliche Verzögerung beim Menschen
$e(t - t_e)$	Eingabegröße (*Input*), bzw. Systemfehler zur Zeit $t - t_e$

Die effektive, zeitliche Verzögerung (t_e) umfasst das Intervall zwischen dem Auftreten des Systemfehlers und der anschließenden Gegenbewegung durch den Probanden. Sie entspricht nach Wickens [1976] der Reaktionszeit des Probanden ähnlich einer Reaktionswahlaufgabe. Die Verstärkung des Systems (K_S) gibt an, wie groß die Bewegungskorrektur des Probanden ist, um einen Systemfehler entgegenzusteuern. Bei Probanden, die aufgrund vermehrter Bewegungskorrekturen einen hohen Verstärkungsfaktor produ-

zieren, zeigt das System starke Oszillationen. Trainierte Probanden können die Zunahme graduell anpassen.

Die Abb. 3.13 gibt das Crossover Modell als Block Diagramm wieder. Kennzeichnend ist, dass die Abweichungen (Regeldifferenz), die von dem Probanden zu korrigieren sind, nicht durch einen externen Störfaktor, sondern durch die inhärent instabile Dynamik des Systems erzeugt werden. Im Gegensatz zu Systemen mit negativem Feedback, wie beispielsweise einem ausgelenkten Pendel, das sich ohne Korrektur mit der Zeit ausschwingt und stabilisiert, wird beim UTT der Tracking-Fehler verstärkt und wächst ohne Korrektur mit steigender Geschwindigkeit (konstanter Beschleunigung) an. Wickens [1984] sieht in diesem Verhalten eine Analogie zu dem Balancieren eines Stabes an dessen Spitze. In dem Augenblick, in dem dieser Stab kippt, nimmt die Fallgeschwindigkeit zu. In unserem Versuchsaufbau versucht der Proband einen Balken per Joy-Stick in der Mitte des Bildschirm zu positionieren. Durch einen externen Störfaktor, der durch eine inhärent instabile Dynamik des Systems erzeugt wird, kommt es in diesem quasi-linearen Modell zu einer Auslenkung des Balkens. Die Antwort des Probanden (in der Abb. 3.13 als Mensch gekennzeichnet) auf die Auslenkung des Balkens wird als eine lineare Transfer-Funktion modelliert, obwohl sie im strengen Sinne nicht-linear ist. Zusätzlich wird eine separate nicht-lineare Residualkomponente, der Rest (engl. Remnant) hinzugefügt. In diesem Regelkreis wird die Reizantwort des Menschen O(t) zur Eingabe für das System. Über die lineare Transfer-Funktion wird der System-Output U(t) berechnet und über ein positives Feedback der Tracking-Fehler E(t) verstärkt. Ohne Korrektur durch den Menschen wächst der Tracking Fehler mit konstanter Beschleunigung, d.h. die Geschwindigkeit der Auslenkung nimmt kontinuierlich zu.

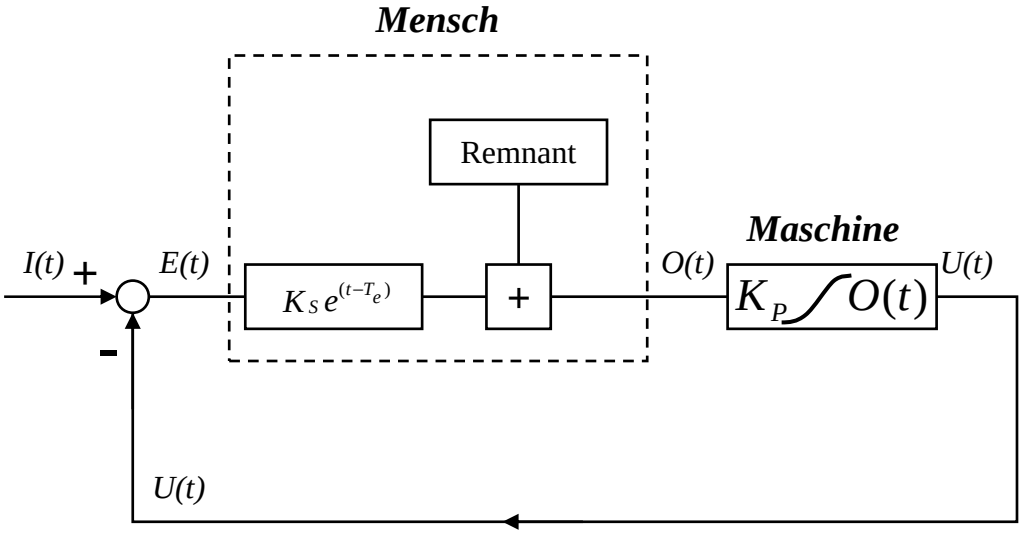


Abb. 3.13.: Das von McRuer und Jex 1967 entworfene Crossover Modell gibt die Interaktion zwischen Mensch und Maschine wieder. Aufgabe ist es, ein System in einem stabilen Zustand zu halten. Dies erfolgt in Analogie zum Führen eines Flugzeugs.

Ein Mensch kann zwar Systeme mit negativem Feedback besser kontrollieren. Doch folgt die Bedienung vieler komplexer Fahrzeuge in der MMI - wie die Steuerung von Flugzeugen - einem positiven Feedback und erfordert die konstante Aufmerksamkeit des Benutzers. Es ist daher wichtig, die Parameter der Überführungsfunktion des Systems gut zu verstehen. Shingledecker [1984] hat diese Parameter empirisch bestimmt. Dazu legte er zwei Messgrößen zugrunde: zum einen den Mittelwert der absoluten Tracking Fehler, zum anderen die Anzahl an Kontrollverlusten. Daneben wurde die Subjektive Arbeitsbelastung der Probanden ausgewertet. So konnte er drei verschiedene Grade der Beanspruchung festlegen und diese dem Instabilitätsparameter Lambda zuordnen. Ein Lambda-Wert von 1.0 entspricht einer geringen, ein Wert von 2.0 einer mittleren und ein Wert von 3.0 einer hohen Beanspruchung. In der ursprünglichen Version von Jex, McDonnell und Phatak [1966] startet der UTT zunächst mit niedrigen Lambda-Werten, die dann systematisch gesteigert werden, bis der Proband die Kontrolle verliert. In unserer Studie wurde das Lambda für die Dauer von drei Minuten konstant gehalten. Auch wurde ein Lambda-Wert von 1.0 als Parameter des Schwierigkeitsgrades gewählt. Sie entspricht somit einer geringen Beanspruchung.

Als Leistungsmaß werden die Abweichungen des Balkens vom Zielbereich und die Anzahl der Kontrollverluste gemessen. Die mittleren absoluten Trackingabweichungen werden dabei als quadratisches Mittel (engl. Root Mean Square, RMS) der Abweichung des Balkens vom Zielbereich über eine Zeiteinheit berechnet. Das quadratische Mittel ist eine Methode zur Mittelwert-Bildung einer Zahlen- oder Messreihe. Bei der quadratischen Mittelung haben – im Gegensatz zum geometrischen Mittel – größere Werte einen stärkeren Einfluss als kleinere. Als Beispiel für eine von der AGARD-STRES-Battery generierte Ausgabedatei zur Nachführensaufgabe wurde die Datei AUTTEX01.dat aus der 1.Sitzung des Probanden A gewählt (siehe Abbildung 3.14). Die mittels AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei ist in der Abbildung 3.15 als Screenshot wiedergegeben.

```
;    ERTS     : V3.17  ========================================================
;    Lizenz   : DLR-Köln, Institut für Luft- und Raumfahrt, Medizin
;    Sitzung  : AGARD-Subtest #5: UNSTABLE TRACKING TASK
;    Datum    : Montag, den 25. November 1996
;    Zeit     : 15:11:18
;    Aufruf   : /EXQK UttPSD.exp =c:\PSD\expdaten\AUTTEX01.dat /1 +A01
;    Monitor  : EGA 640x350 (221x166 mm) mit 60.0 Hz
;    ------------------------------------------------------------------------
 Sitz-ID Vp  Blk Trl   Trk-Zeit   AAE     RMS     Err
 A01     1   1   1     967.42     7.56    8.49    0
 A01     1   1   2     1968.21    3.09    3.62    0
 A01     1   1   3     2968.99    9.31    10.16   0
 A01     1   1   4     3969.77    9.10    11.10   0
 A01     1   1   5     4970.55    4.88    5.76    0
 A01     1   1   6     5971.34    7.44    8.67    0
 A01     1   1   7     6972.12    1.21    1.34    0
 A01     1   1   8     7972.90    2.87    3.22    0
 A01     1   1   9     8973.69    3.51    3.84    0
 A01     1   1   10    9974.47    17.54   18.20   0
 A01     1   1   11    10975.25   3.23    3.95    0
 A01     1   1   12    11976.03   11.13   12.73   0
 A01     1   1   13    12976.82   7.31    8.75    0
 A01     1   1   14    13977.60   8.88    11.09   0
 A01     1   1   15    14978.38   8.88    10.00   0
 A01     1   1   16    15979.16   19.29   23.59   0
 A01     1   1   17    16979.95   3.88    4.40    0
 A01     1   1   18    17980.73   2.65    3.13    0
 A01     1   1   19    18981.51   3.54    4.01    0
 A01     1   1   20    19982.30   5.75    6.24    0
 A01     1   1   21    20983.08   4.19    4.73    0
 A01     1   1   22    21983.86   8.57    10.26   0
 A01     1   1   23    22984.64   7.18    8.01    0
 A01     1   1   24    23985.43   7.31    8.01    0
 A01     1   1   25    24986.21   4.38    5.47    0
 A01     1   1   26    25986.99   5.49    5.84    0
 A01     1   1   27    26987.78   8.30    10.43   0
                       .     .     .
                       .     .     .
                       .     .     .
 A01     1   1   177   177105.19  9.99    10.07   0
 A01     1   1   178   178105.97  6.47    7.31    0
 A01     1   1   179   179106.76  6.00    6.77    0
```

Abb. 3.14.: Die Datei AUTTEX01.dat als Beispiel für eine Nachführen Ergebnisdatei. Neben der RMS (= mittlere absolute Trackingabweichungen) wurde der Kontrollverlust (Err) aufgezeichnet.

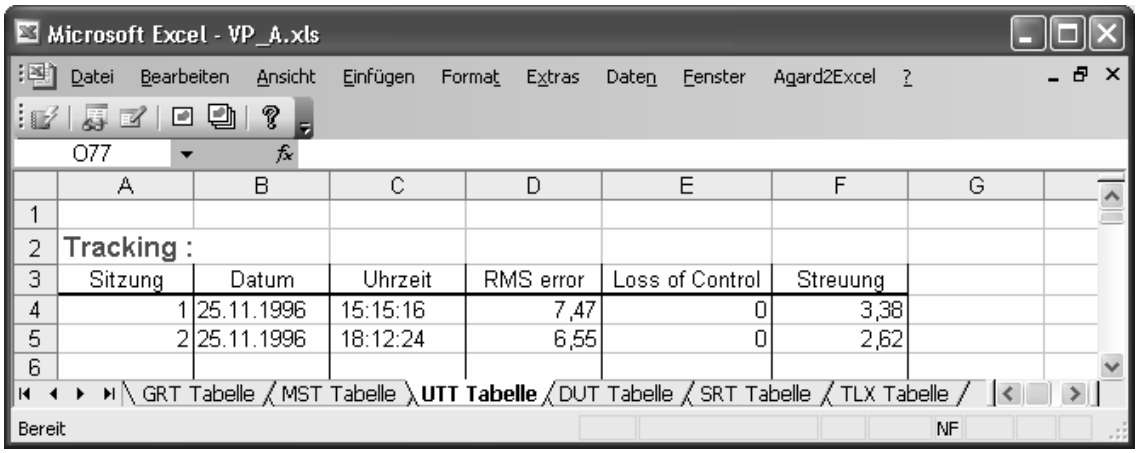

Microsoft Excel - VP_A.xls
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?
O77
Tracking :
Sitzung | Datum | Uhrzeit | RMS error | Loss of Control | Streuung
1 | 25.11.1996 | 15:15:16 | 7,47 | 0 | 3,38
2 | 25.11.1996 | 18:12:24 | 6,55 | 0 | 2,62
GRT Tabelle MST Tabelle UTT Tabelle DUT Tabelle SRT Tabelle TLX Tabelle
Bereit
NF

Abb. 3.15.: AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum UTT. Diese Datei zeigt für jede Sitzung den Mittelwert der mittleren absoluten Trackingabweichungen mitsamt der Streuung an. Daneben werden die absoluten Kontrollverluste (Loss of Control) aufgezeichnet für jede Sitzung.

3.2.7. DUT - Dual Task

Der Proband bearbeitet den MST und den UTT gleichzeitig (*engl.* Dual Task, DUT). Er prägt sich zunächst das Positiv-Set aus 4 Buchstaben ein und startet dann den Test. Ein Durchgang dauert mit drei Minuten genauso lang wie auch bei den Einzeltests. Auf dem Bildschirm erscheinen die einzelnen Testbuchstaben. Der Proband entscheidet, ob der Testbuchstabe zum Positiv-Set gehört. Währenddessen muss der Balken in der Mitte gehalten werden. Die Aufgabe testet die Reservekapazität bei Mehrfachbelastung (engl. „Multitasking"). Abbildung 3.16 gibt die Bildschirmrepräsentation der Aufgabenstellung wieder. Lee und Taatgen [2002] beschreiben Multitasking als Fähigkeit mehrere Aufgaben gleichzeitig zu bewältigen. Es handelt sich beim DUT um eine Kombination einer Diskriminationszeitaufgabe und einer Wahl-Reaktionszeitaufgabe.

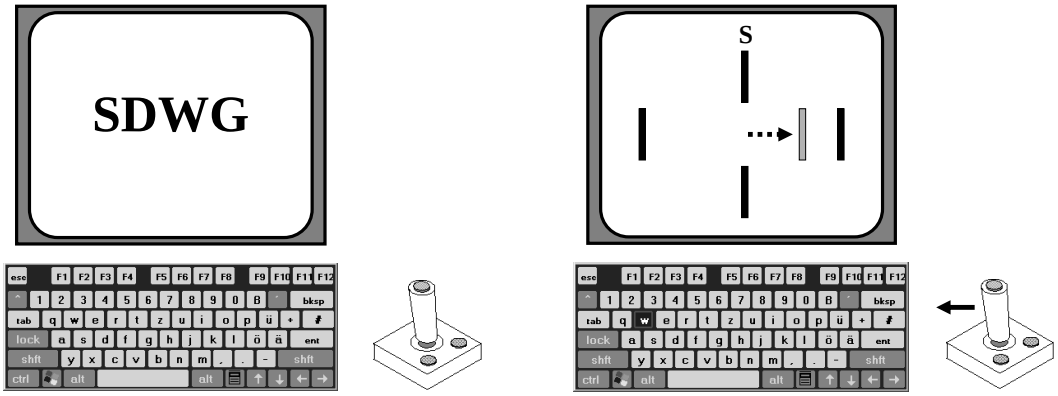
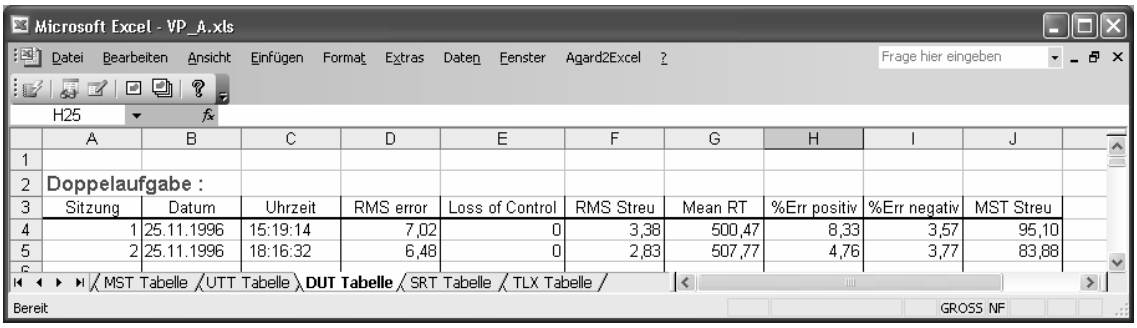


Abb. 3.16.: Bildschirmpräsentation des Dual Task, DUT. Der DUT ist eine Kombination aus MST und den UTT (*engl.* Dual Task, DUT). Der Proband prägt sich zunächst das Positiv-Set aus 4 Buchstaben ein und startet dann den Test. Ein Durchgang dauert drei Minuten. Auf dem Bildschirm erscheinen die einzelnen Testbuchstaben. Der Proband entscheidet entsprechend der Aufgabenstellung aus dem MST, ob der Testbuchstabe zum Positiv-Set gehört oder nicht. Währenddessen muss der Balken aus der Aufgabenstellung UTT in der Mitte gehalten werden. Die Kombination aus MST und UTT soll die Reservekapazität bei Mehrfachbelastung testen und stellt hohe Anforderungen an motorische und kognitive Fähigkeiten des Probanden unter Multitasking-Bedingungen, d.h. mehrere Tätigkeiten zur gleichen Zeit oder abwechselnd in kurzen Zeitabschnitten durchzuführen.

Als Beispiel für eine von der AGARD-STRES-Battery generierte Ausgabedatei einer Aufgabe zur Testung der Mehrfachbelastung unter MST und UTT wurde die Datei ADUTEX01.dat aus der 1 Sitzung des Probanden A gewählt (siehe Abbildung 3.17). Die mittels AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei ist in der Abbildung 3.18 als Screenshot wiedergegeben.

```
;    ERTS     : V3.17  ====================================================
;    Lizenz   : DLR-Köln, Institut für Luft- und Raumfahrt, Medizin
;    Sitzung  : AGARD-Subtest #7: DUAL-TASK
;    Datum    : Montag, den 25. November 1996
;    Zeit     : 15:15:24
;    Aufruf   : /EXQK DutPSD.exp =c:\PSD\expdaten\ADUTEX01.dat /1 +A01
;    Monitor  : EGA 640x350 (210x160 mm) mit 60.0 Hz
;    ------------------------------------------------------------------------
 Sitz-ID Vp  Blk Zeit  K1  Spez Trl  F1 Ant R1      T1
 A01     1   1   15.15 4   1    1    2  1   495.5   D
 A01     1   1   15.15 4   2    2    2  1   528.9   W
 A01     1   1   15.15 4   2    3    2  1   409.6   W
 A01     1   1   15.15 4   1    4    2  1   414.1   D
 A01     1   1   15.15 4   2    5    2  1   386.2   W
 A01     1   1   15.15 4   1    6    2  1   384.1   D
 A01     1   1   15.15 4   2    7    2  1   469.1   W
 A01     1   1   15.15 4   2    8    2  1   462.8   W
 A01     1   1   15.15 4   2    9    2  1   493.6   W
 A01     1   1   15.15 4   1    10   2  1   464.9   D
 A01     1   1   15.15 4   2    11   2  1   387.5   W
 A01     1   1   15.15 4   2    12   2  1   482.5   W
 A01     1   1   15.15 4   2    13   2  1   478.6   W
 A01     1   1   15.15 4   2    14   1  1   418.8   D
 A01     1   1   15.15 4   2    15   2  1   485.4   W
 A01     1   1   15.15 4   1    16   2  1   516.4   D
 A01     1   1   15.15 4   2    17   2  1   449.3   W
 A01     1   1   15.15 4   2    18   2  1   383.0   W
 A01     1   1   15.15 4   1    19   2  1   650.9   D
 A01     1   1   15.15 4   2    20   2  1   383.2   W
 A01     1   1   15.15 4   1    21   2  1   429.8   D
 A01     1   1   15.15 4   2    22   2  1   338.4   W
 A01     1   1   15.15 4   2    23   2  1   442.0   W
 A01     1   1   15.15 4   1    24   2  1   373.2   D
 A01     1   1   15.15 4   1    25   2  1   490.6   D
 A01     1   1   15.15 4   2    26   2  1   420.9   W
 A01     1   1   15.15 4   1    27   2  1   480.1   D
                       .     .     .
                       .     .     .
                       .     .     .
 A01     1   1   15.15 4   2    114  2  1   537.2   W
 A01     1   1   15.15 4   1    115  2  1   860.7   D
 A01     1   1   15.15 4   1    116  2  1   535.9   D
;    ------------------------------------------------------------------------
 Sitz-ID Vp  Blk Trl   Trk-Zeit   AAE     RMS     Err
 A01     1   1   1     967.42     1.57    2.00    0
 A01     1   1   2     1968.20    6.28    7.21    0
 A01     1   1   3     2968.97    4.37    5.55    0
                        .     .     .
                        .     .     .
                        .     .     .
 A01     1   1   177   177104.30  7.22    8.11    0
 A01     1   1   178   178105.08  2.85    3.35    0
 A01     1   1   179   179105.86  7.26    8.68    0
```

Abb. 3.17.: Die Datei ADUTEX01.dat als Beispiel für eine Doppelaufgabe Ergebnisdatei ist die Kombination aus MST und UTT. Zunächst werden nach dem bekannten Schema die Ergebnisse der Gedächtnissuche MST protokolliert, anschließend durch eine Trennlinie abgesetzt die Ergebnisse des UTT.



Microsoft Excel - VP_A.xls

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?

Frage hier eingeben

H25

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2	Doppelaufgabe :									
3	Sitzung	Datum	Uhrzeit	RMS error	Loss of Control	RMS Streu	Mean RT	%Err positiv	%Err negativ	MST Streu
4	1	25.11.1996	15:19:14	7,02	0	3,38	500,47	8,33	3,57	95,10
5	2	25.11.1996	18:16:32	6,48	0	2,83	507,77	4,76	3,77	83,88

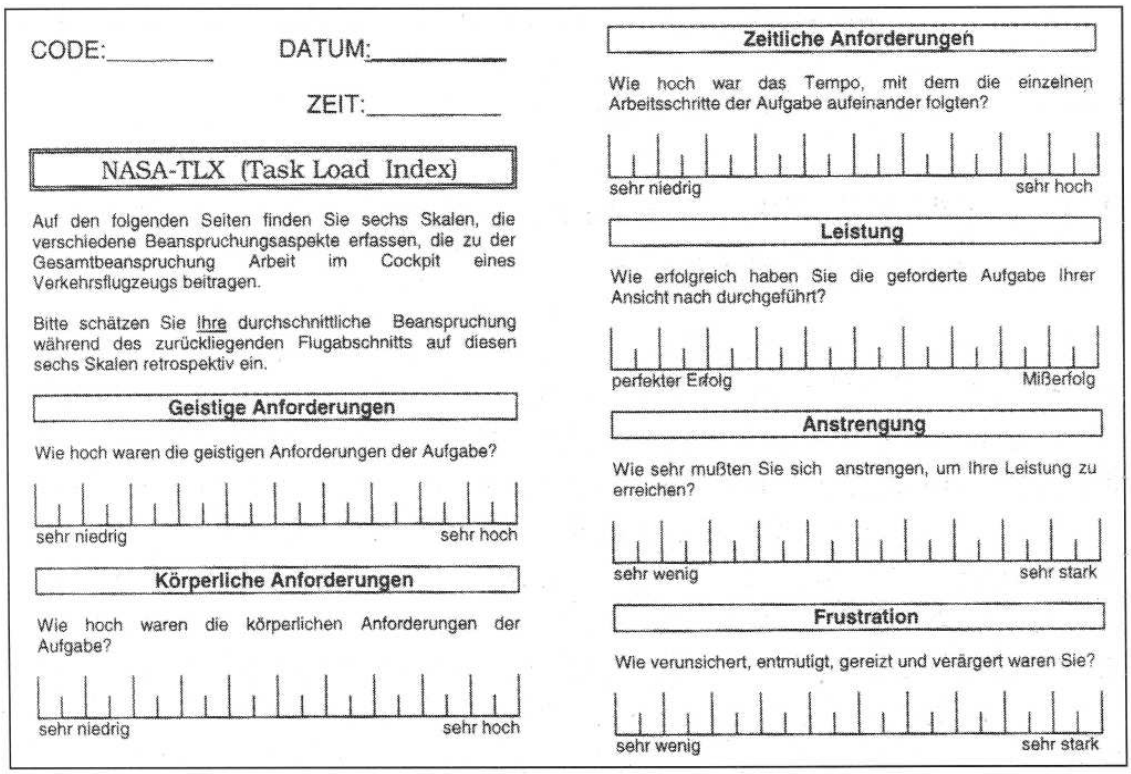
MST Tabelle / UTT Tabelle / DUT Tabelle / SRT Tabelle / TLX Tabelle /

Bereit GROSS NF

Abb. 3.18.: AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum DUT. Diese Tabelle stellt sowohl die Ergebnisse des UTT als auch des MST im Rahmen der Doppelaufgabe dar. Der Informationsgehalt entspricht den Ergebnissen der Teilaufgaben.

3.2.8. TLX - Taskload Index

Der *National Aeronautics and Space Administration-Taskload-Index* (NASA-TLX) ist ein Instrument zur Untersuchung der retrospektiven subjektiven Arbeitsbelastung und -beanspruchung [Hart und Staveland, 1988; Pfendler, 1991] anhand von sechs psychophysiologischen Merkmalen (siehe Abbildung 3.19). Drei Merkmale beziehen sich auf die Belastung (geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen der Tätigkeit/ Aufgabe), die restlichen drei auf Beanspruchung (Leistung, Anstrengung und Frustration in bzw. durch die Tätigkeit/ Aufgabe).



CODE:_____ DATUM:_____

ZEIT:_____

NASA-TLX (Task Load Index)

Auf den folgenden Seiten finden Sie sechs Skalen, die verschiedene Beanspruchungsaspekte erfassen, die zu der Gesamtbeanspruchung Arbeit im Cockpit eines Verkehrsflugzeugs beitragen.

Bitte schätzen Sie Ihre durchschnittliche Beanspruchung während des zurückliegenden Flugabschnitts auf diesen sechs Skalen retrospektiv ein.

Geistige Anforderungen

Wie hoch waren die geistigen Anforderungen der Aufgabe?

sehr niedrig sehr hoch

Körperliche Anforderungen

Wie hoch waren die körperlichen Anforderungen der Aufgabe?

sehr niedrig sehr hoch

Zeitliche Anforderungen

Wie hoch war das Tempo, mit dem die einzelnen Arbeitsschritte der Aufgabe aufeinander folgten?

sehr niedrig sehr hoch

Leistung

Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Aufgabe Ihrer Ansicht nach durchgeführt?

perfekter Erfolg Mißerfolg

Anstrengung

Wie sehr mußten Sie sich anstrengen, um Ihre Leistung zu erreichen?

sehr wenig sehr stark

Frustration

Wie verunsichert, entmutigt, gereizt und verärgert waren Sie?

sehr wenig sehr stark

Abb. 3.19.: Fragebogen NASA-TLX. Die Probanden geben abschließend nach einer Sitzung an, wie hoch sie die geistigen, körperlichen und zeitlichen Anforderungen einstufen. Danach folgen Angaben zu subjektiv empfundenen Beanspruchungen, wie Leistung, Anstrengung und Frustration.

Daher wird der NASA-TLX gerne bei Fragestellungen eingesetzt, die Informationen über die Schwere oder Schwierigkeit von Tätigkeiten verlangen. Dies ist bei operationellen Arbeiten in der Luftfahrt der Fall. Der NASA-TLX kommt aber auch in Laboruntersuchungen zum Einsatz, wenn von den Probanden leistungsabhängige Aufgaben erfüllt werden müssen.

```
A01 08 0  02 0  05 0  06 0  08 0  03 0
```

Abb. 3.20.: Die Datei ATLXEX01.dat als Beispiel für eine Arbeitsbelastung Ergebnisdatei. Die Probanden wählen Zahlenwerte im Bereich von 0 (sehr niedrig/ wenig) bis 20 (sehr hoch/ stark) aus. Die einzelnen Zahlenwerte sind durch eine „0“ als Trennzeichen abgesetzt. Insgesamt werden 6 Zahlenwerte (3 für die Belastung und 3 für die Beanspruchung) angegeben.

In der PSD Studie sollen die Probanden abschließend (retrospektiv) am Rechner ihre jeweilige Sitzung beurteilen. Dabei erfolgt die Bewertung der Belastung bzw. Beanspruchung auf einer Skala von 0 (sehr niedrig/ wenig) bis 20 (sehr hoch/ stark). Da jeder Proband die sechs Skalen in seiner persönlichen Wichtigkeit unterschiedlich werten kann, wird er einmal während der Sitzung nach der Rangordnung befragt, um die sechs verschiedenen Skalen gegeneinander gewichten zu können (die niedrigste Wichtigkeit bekommt den Rang „0“, die höchste den Rang „5“). Die einzelnen Skalen werden mit dem Rang multipliziert und danach summiert, sodass sich eine Zahl zwischen 0 (geringste Arbeitsbelastung) und 300 (höchste Arbeitsbelastung) ergibt.

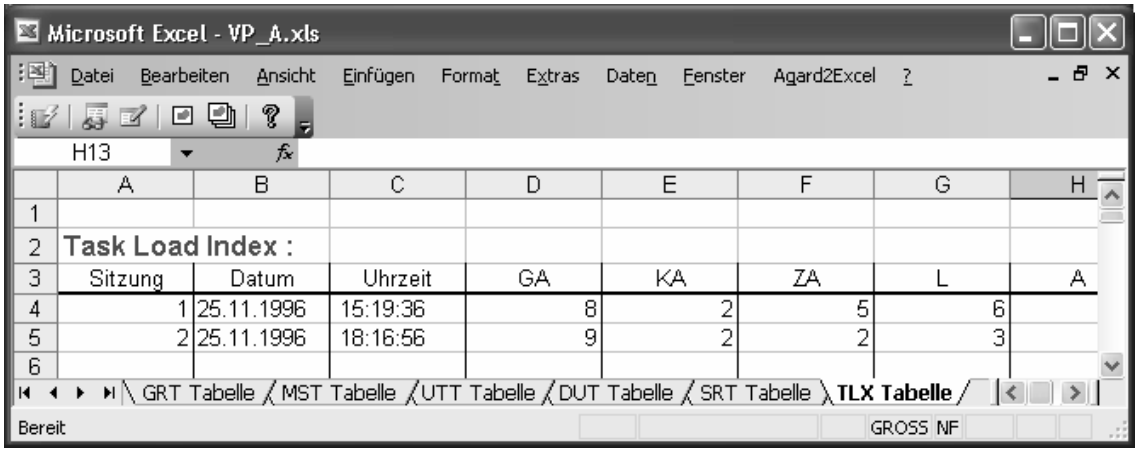

Microsoft Excel - VP_A.xls
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?
H13
Task Load Index :
Sitzung Datum Uhrzeit GA KA ZA L A
1 25.11.1996 15:19:36 8 2 5 6
2 25.11.1996 18:16:56 9 2 2 3
GRT Tabelle MST Tabelle UTT Tabelle DUT Tabelle SRT Tabelle TLX Tabelle
Bereit
GROSS NF

Abb. 3.21.: AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum NASA-TLX. Diese Tabelle stellt die geistige (GA), körperliche (KA) und zeitliche (ZA) Anforderung der Aufgabe sowie Leistung (L), Anstrengung (A) und Frustration (F) in Zusammenhang mit der Tätigkeit mit einem Zahlenwert zwischen 0 und 20 dar.

3.3. Statistische Methoden

Die Auswertung der Daten erfolgte auf einem PC mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS Version 14. Die bei den einzelnen Sitzungen aufgezeichneten Daten wurden mit Hilfe

des Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Bei den Leistungstest, deren Ergebnisdaten normalverteilt sind, wurde mit AGARD2EXCEL der Mittelwert und die Standardabweichung für eine einzelne Sitzung errechnet. Werden im Folgenden die Mittelwerte mit dem Zusatz „Std“ angegeben, so ist damit die Standardabweichung gemeint. Zur Analyse der für jede Sitzung berechneten Mittelwerte wurde immer der Wilcoxon Test für verbundene Stichproben als nichtparametrischer Test gewählt. Da bei diesem Test nicht die Messwerte selbst, sondern deren Rangplätze verarbeitet werden, ist er gegenüber Ausreißern unempfindlicher und robuster als ein parametrischer Test. Verglichen wurden die Daten der individuellen Messwerte aus den Kontrolltagen mit den Ergebnissen unter Einfluss der Stressoren. Auf Grund der geringen Anzahl der Probanden wurden die Hypothesen auf einem Signifikanzniveau von α = 0,05 getestet.

4. Ergebnisse

Inhalt dieses Kapitels sind die Ergebnisse der Messung der Leistungsfähigkeit unter Einfluss verschiedener Stressoren. Als Stressoren wurden Alkohol bis zu einer AAK von etwa 0,7‰, Hypoxie bis 10% und eine verkürzte Schlafdauer von 5h für 4 konsekutive Nächte verwendet.

Die objektive Leistungsfähigkeit wurde anhand der Ergebnisse der AGARD-STRES-Battery bestimmt. Dabei wurde aus dem Set an verschiedenen Testverfahren die Satzverifikation (GRT), Gedächtnissuche (MST), Instabiles Tracking (UTT), Doppelaufgabe (DUT) und Reaktionsaufgabe (SRT) nach Dinges als Leistungstest ausgewählt.

Die subjektiven Arbeitsbelastungen und -beanspruchungen der ersten 4 Tests wurden von den Probanden entsprechend der sechs psychophysiologischen Merkmale des *National Aeronautics and Space Administration-Taskload-Index* (NASA-TLX) nachträglich angegeben. Drei Merkmale des NASA-TLX beziehen sich auf die Belastung (geistige, körperliche und zeitliche Anforderungen der Tätigkeit/ Aufgabe), die restlichen drei auf Beanspruchung (Leistung, Anstrengung und Frustration in bzw. durch die Tätigkeit/ Aufgabe).

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Studie aufgeteilt nach Testverfahren einzeln vorgestellt. Zunächst werden jedoch die Stressoren Alkohol und Hypoxie betrachtet.

4.1. Vergleichsstressoren Alkohol und Hypoxie

Während der Sauerstoffgehalt der Atemluft und die Schlafdauer relativ einfach zu steuernde Einfluss-Größen darstellen, hängt die Atemalkoholkonzentrationen (AAK) der Probanden von mehreren Faktoren ab, die entsprechend der Widmark-Formel (siehe Gleichung 2.1 auf Seite 14) durch Schätzformeln approximiert werden können. Jedoch bestehen für jeden Probanden Unterschiede in Resorption und Distribution des Alkohols. Im nachfolgenden Kapitel werden die im Versuch ermittelten Atemalkoholkonzentrationen aufgeführt.

4.1.1. Alkohol

Wie im Methodenteil schon beschrieben, wurde den Probanden am fünften Tag der PSD-Studie handelsüblicher Wodka gereicht, der unverdünnt und ohne Zusätze getrunken werden musste. Zum Nachtrinken wurde Apfelsaft oder Orangensaft bereit gestellt. Die Probanden wurden in zwei Gruppen (Gruppe ACDF und BEGH, siehe auch Seite 36) un-

terteilt, die entsprechend dem Cross-Over-Design unterschiedliche Alkoholmengen zum Trinken bekamen. Ziel war es, die Leistungsfähigkeit unter definierten Alkoholkonzentrationen zu bestimmen. Das Cross-Over-Design (siehe Tabelle 3.6) wurde hierbei verwendet, um etwaige Gewöhnungseffekte auszugleichen. Die höchste erreichte Alkoholkonzentration c_{max} der Untergruppe ACDF (siehe Tabelle 4.1) betrug 1,03‰ (Proband A). Dieser Wert wurde schon eine halbe Stunde nach Alkoholaufnahme erreicht. Proband A hatte auch die Abbaurate mit dem steilsten Gefälle der 4 Versuchspersonen A, C, D, F. Die anderen Probanden zeigten erst in der zweiten Messung um 12:00 Uhr ihre höchsten Atemalkoholkonzentrationen. Der niedrigste nach Aufnahme gemessene Maximal-Wert betrug 0,69‰ (Proband F). Die mittlere AAK der Gruppe ACDF hatte eine Höhe von $0,75 \pm 0,05$ (SD)‰ um 12:00 Uhr, von $0,34 \pm 0,06$ (SD)‰ um 15:00 Uhr und schließlich den Nüchternwert von $0,00 \pm 0,00$ (SD)‰ um 18:00 Uhr.

Atemalkoholmessung [‰] der Gruppe ACDF					
Uhrzeit/Proband	**A**	**C**	**D**	**F**	**Mittelwert ± Std**
10:30			**Trinken**		
11:00	1,03	0,70	0,40	0,67	$0,70 \pm 0,22$
12:00	0,80	0,74	0,77	0,69	$0,75 \pm 0,04$
13:00	0,65	0,70	0,64	0,56	$0,64 \pm 0,05$
14:00	0,50	0,59	0,40	0,49	$0,50 \pm 0,07$
15:00	0,39	0,38	0,25	0,33	$0,34 \pm 0,06$
16:00	0,23	0,25	0,10	0,18	$0,19 \pm 0,06$
17:00	0,10	0,12	0,00	0,00	$0,06 \pm 0,06$
18:00	0,00	0,00	0,00	0,00	$0,00 \pm 0,00$

Tabelle 4.1.: Ergebnisse der Atemalkoholkonzentrationen der Gruppe ACDF. Tabellarische Darstellung des Ergebnisses der Probanden A, C, D, und F mit den tatsächlich erreichten Atemalkoholkonzentrationen (Atemmessung) in Promille [‰]. Die Probanden bekamen um 10:30 Uhr die individuell errechnete Alkoholmenge (entsprechend der Widmark-Formel (siehe Gleichung 2.1)) zum Trinken. Die erste Messung wurde eine halbe Stunde nach Alkoholkonsum um 11:00 Uhr durchgeführt. Danach erfolgte eine stündliche Atemalkoholmessung bis die Probanden eine Atemalkoholkonzentration von 0,00‰ zeigten. Bei allen Probanden war um 18:00 Uhr der Alkohol restlos aus der Ausatmung eliminiert.

Die grafische Darstellung des Verlaufs der Alkoholkonzentrationen dieser Untergruppe ist in der Abbildung 4.1 zu sehen. Die mittlere Abbaurate β_{60} der Probanden lag mit $0,13 \pm 0,05$ (SD)‰/h, wie zu erwarten, in dem von der Literatur angegebenen Bereich von 0,1 bis 0,15‰/h [Jachau u. a., 2000; Köhler u. a., 1997, 2000; Singer und Teyssen, 2005]. Der lineare Verlauf des Abbaus zeigt sich im durchschnittlichen Spearman Korrelationskoeffizienten von -0,99.

Die Abbildung 4.2 stellt die Mittelwerte der AAK der Gruppe ACDF und die lineare Regressionsgerade (y= -0.13x.88) dar.

In der Untergruppe BEGH (siehe Tabelle 4.2) betrug der höchste nach Alkoholgenuss erreichte Wert 0,85‰ (Proband E). Dieser Wert wurde eine halbe Stunde nach der 3.Trinkepisode (16:30 Uhr) erreicht. Es fällt auch auf, dass Proband E bereits nach der 2.Trinke-

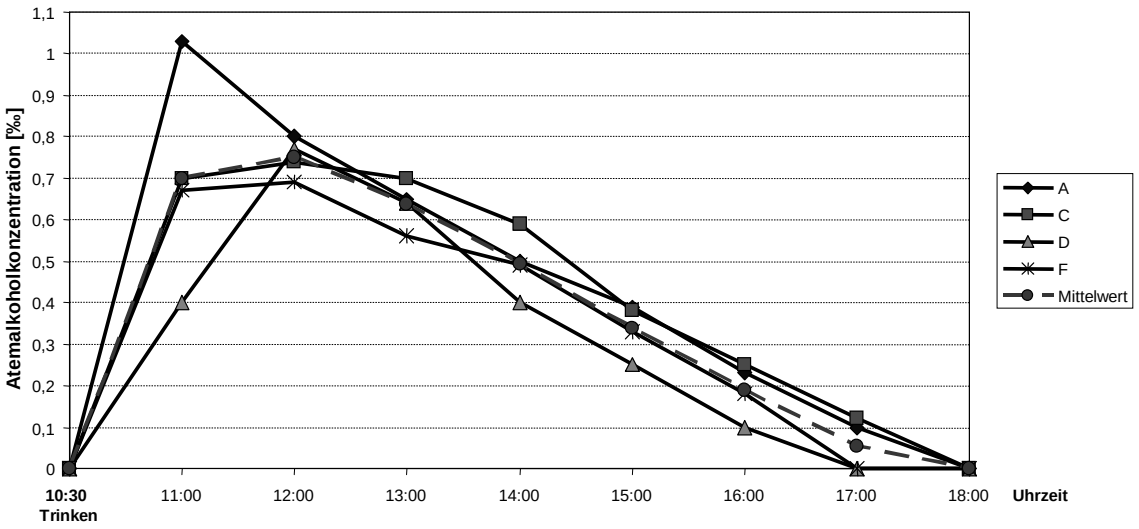


Abb. 4.1.: Graphische Darstellung des Ergebnisses der Atemalkoholkonzentrationen der Gruppe ACDF. Die Probanden bekamen um 10:30 Uhr die individuell errechnete Alkoholmenge zum Trinken. Die erste Messung wurde eine halbe Stunde nach Alkoholkonsum um 11:00 Uhr durchgeführt. Danach erfolgte eine stündliche Atemalkoholmessung bis die Probanden eine Atemalkoholkonzentration von 0,00‰ zeigten. Wie aus der Graphik zu entnehmen ist, erreicht Proband A schon eine halbe Stunde später die höchste Atemalkoholkonzentration mit 1,03‰. Proband A hatte auch die Abbaurate mit dem steilsten Gefälle der 4 Versuchspersonen A, C, D, F. Die anderen Probanden zeigten erst in der zweiten Messung um 12:00 Uhr ihre höchsten Atemalkoholkonzentrationen. Der niedrigste nach Aufnahme erreichte Maximal-Wert betrug 0,69‰ (Proband F). Die mittlere AAK der Gruppe ACDF hatte eine Höhe von $0,75 \pm 0,05$‰ um 12:00 Uhr, von $0,34 \pm 0,06$‰ um 15:00 Uhr und schließlich den Nüchternwert von $0,00 \pm 0,00$‰ um 18:00 Uhr.

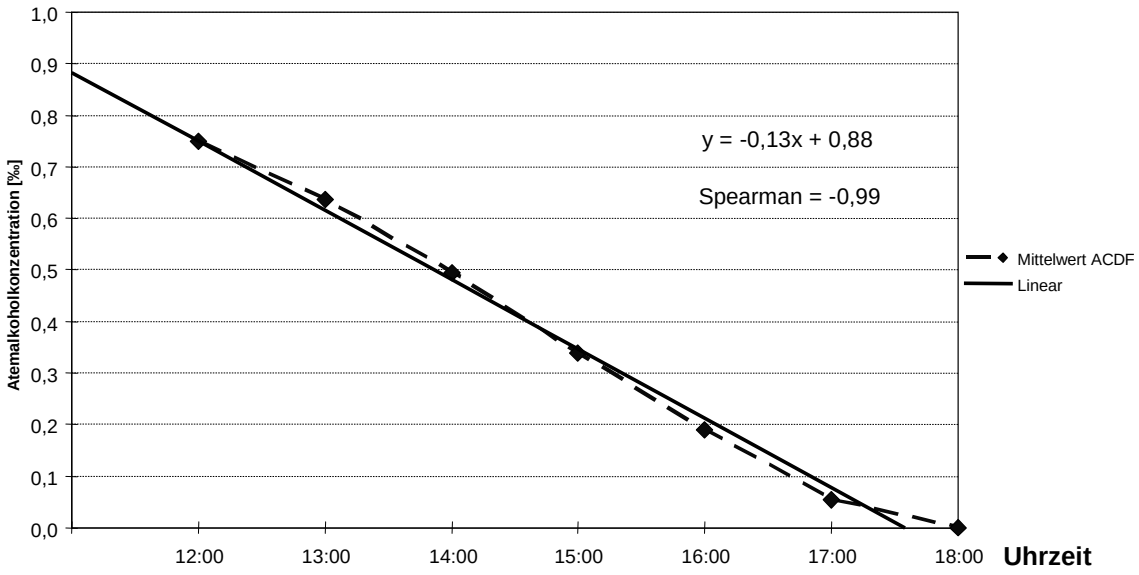


Abb. 4.2.: Tatsächlich erreichte Atemalkoholkonzentrationen (Atemmessung) in Promille [‰] der Probanden A, C, D, und F. Aus der Graphik wurde die Abbaurate der Atemalkoholkonzentration bestimmt. Die mittlere Abbaurate β_{60} der Probanden lag mit $0,13 \pm 0,05$‰/h, wie zu erwarten, in dem von der Literatur angegebenen Bereich von 0,1 bis 0,15‰/h. Der lineare Verlauf des Abbaus zeigt sich im durchschnittlichen Spearman Korrelationskoeffizienten von -0,99.

Atemalkoholmessung [‰] der Gruppe BEGH					
Uhrzeit/Proband	**B**	**E**	**G**	**H**	**Mittelwert ± Std**
10:30			**Trinken 1**		
11:00	0,39	0,32	0,30	0,15	$0,29 \pm 0,09$
12:00	0,23	0,19	0,19	0,17	$0,20 \pm 0,02$
13:00	0,11	0,05	0,08	0,05	$0,07 \pm 0,02$
13:25	0,05	0,00	0,00	0,00	$0,01 \pm 0,02$
13:30			**Trinken 2**		
14:00	0,27	0,84	0,33	0,36	$0,45 \pm 0,23$
15:00	0,29	0,31	0,32	0,27	$0,30 \pm 0,02$
16:00	0,24	0,22	0,20	0,18	$0,21 \pm 0,02$
16:25	0,20	0,18	0,17	0,15	$0,18 \pm 0,02$
16:30			**Trinken 3**		
17:00	0,74	0,85	0,41	0,70	$0,68 \pm 0,16$
18:00	0,80	0,76	0,54	0,32	$0,61 \pm 0,19$
18:30	0,75	0,66	0,66	0,34	$0,60 \pm 0,16$
19:00	0,63	0,59	0,60	0,27	$0,52 \pm 0,15$
20:00	0,46	0,47	0,46	0,28	$0,42 \pm 0,08$
21:00	0,28	0,33	0,23	0,19	$0,26 \pm 0,05$
22:00	0,11	0,26	0,10	0,09	$0,14 \pm 0,07$

Tabelle 4.2.: Tabellarische Darstellung des Ergebnisses der Atemalkoholkonzentrationen der Gruppe BEGH. In dieser Gruppe wurden 3 Trinkepisoden (Trinken 1-3) eingeplant. Jede Episode besteht aus den Phasen der Resorption, Distribution und Elimination. Der höchste nach Alkoholgenuss erreichte Wert betrug 0,85‰ (Proband E). Dieser Wert wurde eine halbe Stunde nach der 3.Trinkepisode (16:30 Uhr) erreicht. Proband E erreichte bereits nach der 2.Trinkepisode (13:30 Uhr) einen hohen BAK-Wert von 0,84‰, der jedoch schon 90 min später auf einen durchschnittlichen Wert von 0,31‰ abgefallen war. Die mittlere AAK (Mittelwert der Gruppe BEGH) wies zu den jeweiligen Zeiten der Leistungsmessung eine Höhe von $0,20 \pm 0,02$‰ um 12:00 Uhr, von $0,30 \pm 0,02$‰ um 15:00 Uhr, von $0,61 \pm 0,19$‰ um 18:00 Uhr auf und erreichte schließlich einen Wert von $0,26 \pm 0,05$‰ um 21:00 Uhr.

pisode (13:30 Uhr) einen hohen BAK-Wert von 0,84‰ erreicht, der jedoch schon 90 min später auf einen durchschnittlichen Wert von 0,31‰ abfällt. Da in dieser Gruppe 3 Trinkepisoden eingeplant wurden, lassen sich 3 unterschiedliche Phasen unterscheiden.

Die grafische Darstellung des Verlaufs der Alkoholkonzentrationen dieser Untergruppe ist in der Abbildung 4.3 zu sehen. Diese bestehen jeweils aus der Resorption, Distribution und Elimination des Alkohols. Da zu Beginn der 3.Trinkepisode der Alkohol nicht vollständig eliminiert ist, kommt es zu einer Überlagerung der Resorption aus Phase III mit der Elimination aus Phase II.

Die mittlere AAK der Gruppe BEGH hatte eine Höhe von $0,20 \pm 0,02$‰ um 12:00 Uhr, von $0,30 \pm 0,02$‰ um 15:00 Uhr, von $0,61 \pm 0,19$‰ um 18:00 Uhr und schließlich einen Wert von $0,26 \pm 0,05$‰ um 21:00 Uhr. Die mittlere Abbaurate der 1.Phase lag bei $0,11 \pm 0,04$‰/h, der 2.Phase bei $0,11 \pm 0,07$‰/h und der 3.Phase bei $0,12 \pm 0,05$‰/h. Dies entspricht dem von der Literatur angegebenen Bereich von 0,1 bis 0,15‰/h. Der lineare Verlauf des Abbaus zeigt sich im durchschnittlichen Spearman Korrelationskoeffizienten

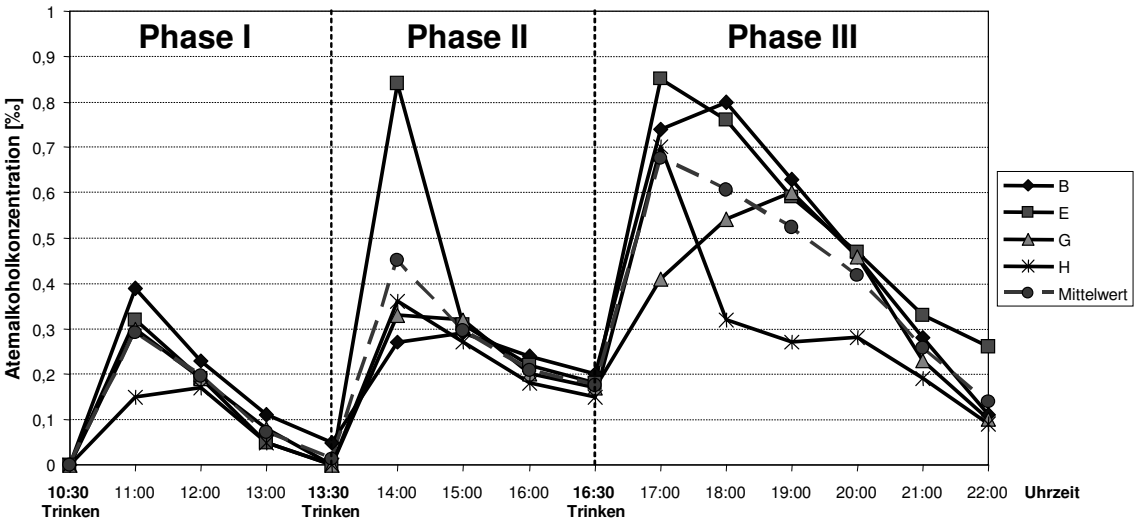


Abb. 4.3.: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Atemalkoholmessung der Gruppe BEGH. Es fällt auf, dass Proband E in allen Phasen die höchste Atemalkoholkonzentration erreicht. So zeigt er nach der 1.Trinkepisode in Phase I (10:30 - 13:30 Uhr) innerhalb der Gruppe BEGH den höchsten Wert von 0,4‰. Proband E erreicht ebenfalls bereits nach der 2.Trinkepisode in Phase II (13:30 - 16:30 Uhr) einen hohen BAK-Wert von 0,84‰, der jedoch schon 90 min später auf einen durchschnittlichen Wert von 0,31‰ abfällt. Zwischen Phase II und Phase III ist der Alkohol noch nicht vollständig eliminiert und wird durch die Resorption zu Beginn der Phase III überlagert, so dass eine höhere mittlere AAK in Phase III mit einem Maximalwert von $0,68 \pm 0,16$‰ erreicht wird. Mit einem Wert von 0,85‰ eine halbe Stunde nach der 3.Trinkepisode (16:30 - 22:00 Uhr) erreicht Proband E den höchsten gemessenen Wert während der dreiphasigen Versuchsreihe. Die mittlere AAK (Mittelwert der Gruppe BEGH) wies zu den jeweiligen Zeiten der Leistungsmessung eine Höhe von $0,20 \pm 0,02$‰ um 12:00 Uhr, von $0,30 \pm 0,02$‰ um 15:00 Uhr, von $0,61 \pm 0,19$‰ um 18:00 Uhr auf und erreichte schließlich einen Wert von $0,26 \pm 0,05$‰ um 21:00 Uhr.

von -0,98. Die Abbildung 4.4 gibt die Mittelwerte der AAK der Gruppe BEGH und die lineare Regressionsgeraden (Phase I: y= -0.11x.40; Phase II: y= -0.12x.56; Phase III: y= -0.11x.82) wieder.

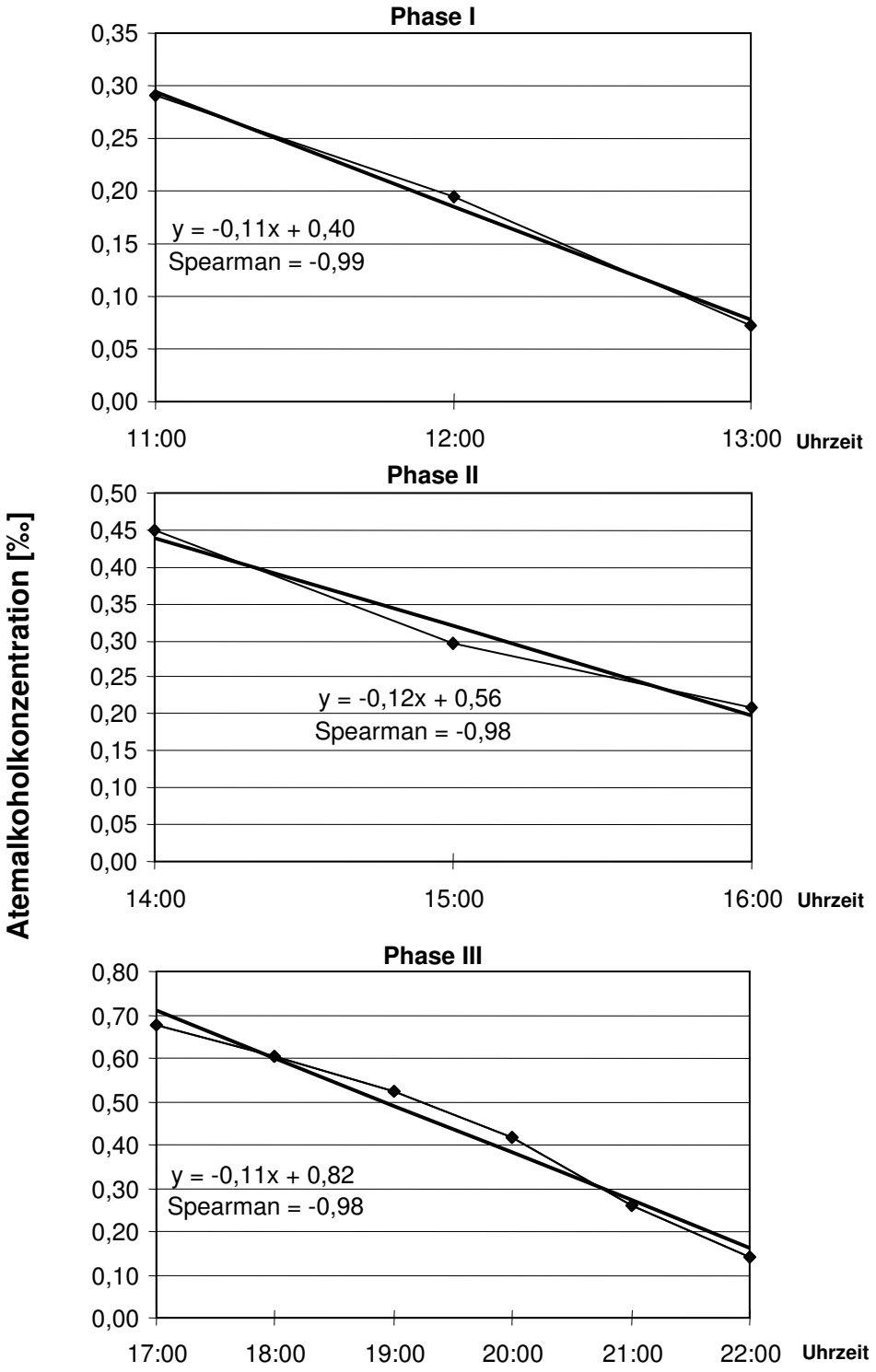


Abb. 4.4.: Abbaurate der Atemalkoholkonzentration der Gruppe BEGH. Die mittlere Abbaurate der 1.Phase lag bei $0,11 \pm 0,04$‰/h, der 2.Phase bei $0,11 \pm 0,07$‰/h und der 3.Phase bei $0,12 \pm 0,05$‰/h. Dies entspricht dem von der Literatur angegebenen Bereich von 0,1 bis 0,15‰/h. Der lineare Verlauf des Abbaus zeigt sich im durchschnittlichen Spearman Korrelationskoeffizienten von -0,98 und den lineare Regressionsgeraden (Phase I: y= -0.11x.40; Phase II: y= -0.12x.56; Phase III: y= -0.11x.82).

4.1.2. Hypoxie

Die Leistungsmessung unter Einfluss des Stressors „Hypoxie“ erfolgte am vierten Tag der PSD Studie. Die Probanden erhielten über Atemmasken unterschiedliche Sauerstoff/Helium-Konzentrationen von 10%, 11,5% und 13% O_2. Die Atemmasken wurden von allen Probanden gut toleriert. zur Einstellung eines Steady State, wurde jeweils vor einer Sitzung eine Voratemphase von 15 min eingehalten, an die sich dann die Leistungstests anschlossen.

Die Probandengruppe wurde nach dem Cross-Over-Design in zwei Untergruppen zu vier Personen aufgeteilt. In der ersten Gruppe (ACDF) wurde der Sauerstoff an den Sitzungen um 12:00 Uhr, 15:00 Uhr und 18:00 Uhr in aufsteigender, in der zweiten Gruppe (BEGH) in absteigender Konzentration zugeführt. Während der Sitzungen um 9:00 Uhr und 21:00 Uhr haben beide Gruppen eine normale Sauerstoffkonzentration von 21% O_2 veratmet. Ziel dieses Cross-Over-Designs war es, eventuell auftretende Gewöhnungseffekte auszugleichen. Die Angaben über die veratmeten Sauerstoffkonzentrationen waren nur dem Versuchsleiter bekannt (Einfachblindversuch).

4.1.3. Cross-Over-Design bei Hypoxie und Alkohol

Unter der Annahme, dass sich Hypoxie gegenüber der Tageszeit stärker auf die Leistungsfähigkeit der Probanden auswirkt, wurden die erzielten Messwerte der Leistungstest im Nachhinein dahingehend umsortiert, dass alle Probanden das gleiche Profil erhielten. Die Umsortierung für den Stressor Hypoxie am Tag 4 sind der Tabelle 4.3 zu entnehmen.

Diese Umsortierung wurde auch schon bei anderen, vergleichbaren Studien am DLR verwendet [Elmenhorst, 2004; Elmenhorst u. a., 2009]. Sie erlaubt es, die Auswirkungen von Hypoxie mit den anderen Stressoren unter Einbezug aller Probanden zu vergleichen und graphisch darzustellen. Beim Alkohol wurde entsprechend dieser Überlegung die in Tabelle 4.4 wiedergegebene Reihenfolge verwendet. Abermals wurde unter der Annahme, dass sich Alkohol gegenüber der Tageszeit stärker auf die Leistungsfähigkeit der Probanden auswirkt, die erzielten Messwerte der Leistungstest im Nachhinein dahingehend angeordnet, dass alle Probanden das gleiche Profil mit abfallender Blutalkoholkonzentration (BAK) von 0,7‰, 0,3‰, 0,1‰ und 0‰ nach Umrechnung entsprechend der Widmark-Formel zeigten.

Probanden		**9:00 Uhr**	**12:00 Uhr**	**15:00 Uhr**	**18:00 Uhr**	**21:00 Uhr**
Alle [A-H]	**O_2 [%]**	21	10	11,5	13	21

Tabelle 4.3.: Umsortierung des Cross-Over-Design Tag 4 (Hypoxie). Unter der Annahme, dass sich Hypoxie gegenüber der Tageszeit stärker auf die Leistungsfähigkeit der Probanden auswirkt, wurden die erzielten Messwerte der Leistungstest im Nachhinein dahingehend umsortiert, dass alle Probanden das gleiche Profil mit aufsteigendem Sauerstoffgehalt von 10%, 11,5%/ und 13% in der Atemluft erhielten. Der Mittelwert aus beiden Messreihen mit 21%/ Sauerstoffgehalt dient als Kontrollwert.

Probanden		9:00 Uhr	12:00 Uhr	15:00 Uhr	18:00 Uhr	21:00 Uhr
Alle [A-H]	BAK [‰]	0	0,7	0,3	0,1	0

Tabelle 4.4.: Umsortierung des Cross-Over-Design an Tag 5 (Stressor Alkohol).

Dalrymple-Alford u. a. [2003] konnten in einer vergleichbaren Studie unter Laborbedingungen an 16 männlichen Probanden mit 0,8‰ BAK nach Alkoholgenuss nachweisen, dass sich Alkohol gegenüber der Tageszeit stärker auf die Leistungsfähigkeit der Probanden auswirkt. Getestet wurde die Leistungsfähigkeit bei einer kontinuierlichen, sensomotorischen Aufgabenstellung, ähnlich dem UTT.

4.2. Leistungsfähigkeit nach Schlafdeprivation

Um bei den Leistungstests die durch äußere Einwirkungen (z.B. Müdigkeit, Einnahme von Medikamenten, Alkohol oder andere Ursachen) hervorgerufenen Abweichungen zweifelsfrei erkennen zu können, muss die AGARD-STRES-Battery solange geübt werden, bis keine persönlichen Leistungssteigerungen (durch Übung) mehr möglich sind. Bei der PSD-Studie wurde daher auf eine ausreichend lange Trainingszeit geachtet, um die Trainings- und Lerneffekte auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. So absolvierte jeder Proband im Zeitraum von 4 Wochen vor Beginn der Studie 40 Testsitzungen an der AGARD-STRES-Battery. Jede Sitzung wurde im AMSAN an den Arbeitsplätzen durchgeführt, an denen auch später während der Studie die Leistungsfähigkeit getestet werden sollte. Der Proband konnte sich auf diese Weise schon im Voraus mit der Arbeitsumgebung vertraut machen. Die einzelnen Testsitzungen bestanden aus jeweils 3 Minuten GRT, UTT, MST und DUT sowie am Schluss 10 Minuten SRT.

4.2.1. Normierung der Daten

Die Probanden zeigten nach der Trainingsphase ein unterschiedliches Leistungsniveau, das auch durch individuelle, nicht beeinflussbare Merkmale bestimmt wird. So ist z.B. beim Reaktionstest auf einen Einzelreiz (SRT) die Reaktionszeit u.a. abhängig von der Körpergröße des Probanden und der Art und Weise, wie er die Taste drückt oder auch von seiner Vorerfahrung im Umgang mit Rechnern. In der Tabelle 4.5 sind die Ergebnisse an den stressorfreien Tagen (Tag 2, 3, 6, 11 und 12) der Studie aufgeführt. Zwischen den einzelnen Probanden bestehen selbst bei diesem einfachen Aufgabentyp große Leistungsunterschiede. Die Studienergebnisse aller Leistungstest der Gesamtgruppe an den stressorfreien Tagen sind in Diagramm 4.5 abgebildet.

Es wurde daher nach Kontrollwerten gesucht, die nach Abschluss der Trainingsphase als Maß der Leistungsfähigkeit dienen. In dieser Studie wurden als Referenzwerte die Ergebnisse aus den Sitzungen der stressorfreien Tage 2 und 3 der Versuchsphase, die sich unmittelbar an die Trainingsphase anschloss, gewählt. Um die Leistungsfähigkeit den-

Proband	2. Tag	3. Tag	6. Tag	11. Tag	12.Tag	Mittelwert
A	242	253	251	254	260	252
B	211	216	224	220	214	217
C	259	255	253	242	247	251
D	218	219	230	243	231	228
E	222	219	211	213	219	217
F	239	248	244	274	275	**256**
G	238	233	231	243	254	240
H	198	196	195	200	192	**196**

Tabelle 4.5.: Tabellarische Darstellung der Studienergebnisse des SRT in Millisekunden [ms] an den stressorfreien Tagen für jeden Probanden A-H. Proband H zeigte im Mittel mit 196ms die kürzesten Reaktionszeiten, während Proband F mit einem Mittelwert von 256ms die längsten Reaktionszeiten aufwies.

noch normieren und damit vergleichen zu können, mussten die absoluten Messwerte in Verhältnis zu einem Durchschnittswert gesetzt werden, der die Leistungsfähigkeit eines Probanden nach einer ausreichenden Trainingsphase unter normalen Testbedingungen in einer stressorfreien Umgebung angibt. In den Unterkapiteln über die einzelnen Tests werden daher hauptsächlich die relativen Veränderungen und nicht die Absolutwerte verglichen, um so die interindividuellen Unterschiede herauszustellen.

Dass jedoch auch nach Abschluss der Trainingsphase bei einzelnen Probanden noch Lerneffekte auftraten, belegt das Diagramm 4.5. Dieses Diagramm zeigt für jeden Probanden die Entwicklung der Tagesmittel an den stressorfreien Tagen der Versuchsphase (2.Tag, 3.Tag, 6.Tag, 11.Tag und 12.Tag) der PSD-Studie. Dabei fällt auf, dass einzelne Probanden bei den komplexen Testverfahren, wie dem GRT (Proband A, B, E, F, G, H), dem UTT (Proband A, C, G) und dem DUT (Proband A, C, G), auch während der Studie eine Leistungsverbesserung zeigen.

Hier zeigt sich das Unvermögen, prospektiv die ausreichende Anzahl der Trainingssitzungen für einzelne Versuchsteilnehmer zu bestimmen. Aber auch Faktoren wie Motivation und Lernbereitschaft spielen eine große Rolle. Bei diesen Probanden wurde daher dieser Trend der Lerneffekte im Nachhinein aus den Leistungsdaten mathematisch entfernt. Statt einen konstanten Kontrollwert aus dem Mittelwert der Sitzungen an den stressorfreien Tage 2 und 3 zu bilden, wurde eine Gerade aus den Werten aller stressorfreien Tage errechnet und als Referenz benutzt. Diese Methode der rechnerischen Entfernung der Lerneffekte wurde schon bei Samel, Vejvoda und Elmenhorst verwendet [Elmenhorst, 2004; Samel und Gander, 1991; Vejvoda u. a., 1998].

Nachdem auf diese Weise eine dem Lernerfolg der Probanden angepasste Kontrollgröße bestimmt wurde, konnte die prozentuale Abweichung von diesem Kontrollwert für jeden Probanden errechnet werden. Im nächsten Schritt wurde ein Mittelwert aus den prozentualen Abweichungen der einzelnen Probanden gebildet und als Referenzwert der Leistungsfähigkeit der Gruppe verwendet. In den nachfolgenden Diagrammen sind die Mittelwerte der Gruppe während der Trainingsphase und der Versuchsphase, insbesonde-

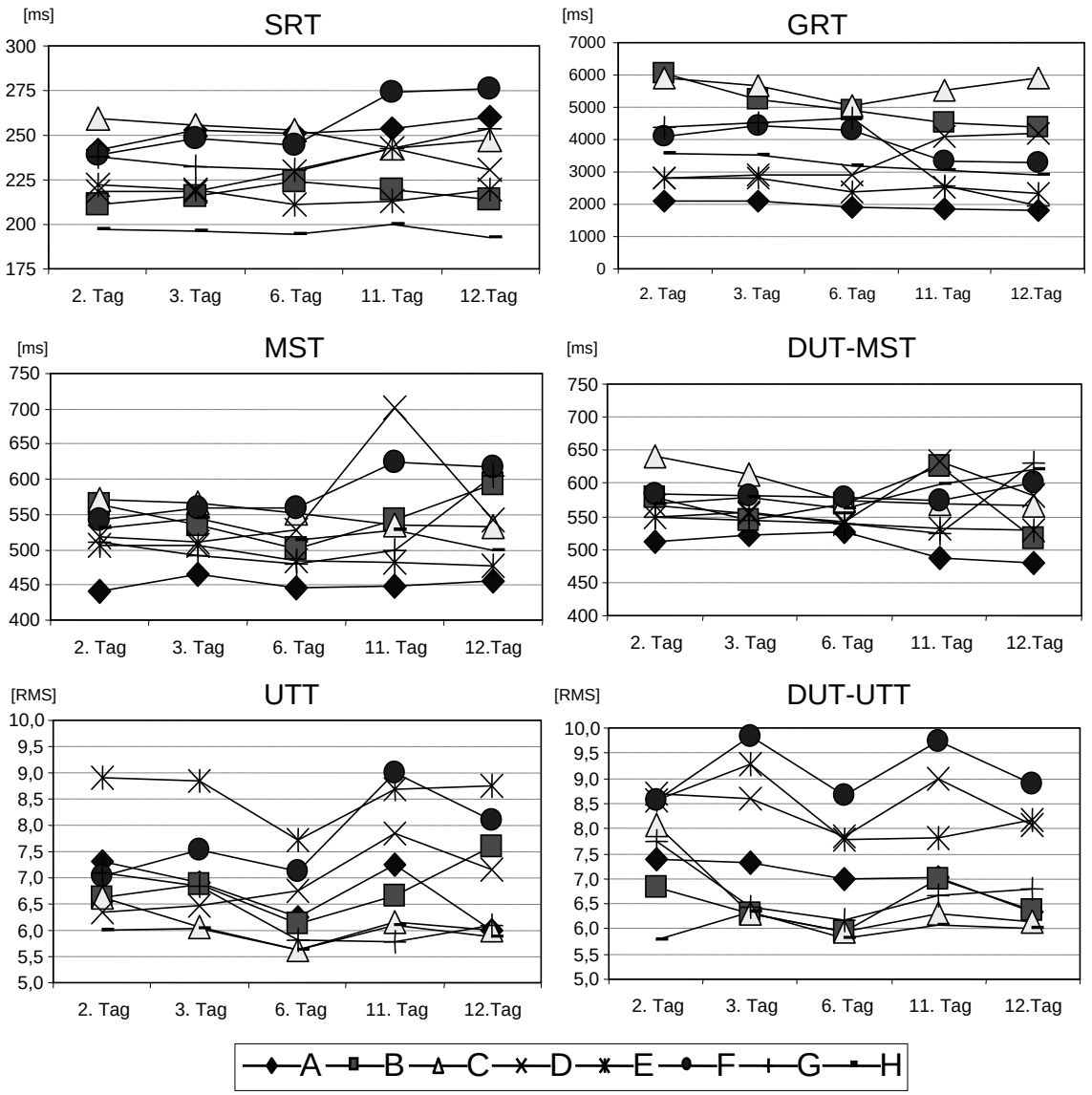


Abb. 4.5.: Vergleich der Tagesmittel an den stressorfreien Tagen. Die einzelnen Diagramme geben für die Leistungstest SRT, GRT, MST und DUT-MST die Reaktionszeiten der Probanden[A-H] wieder. Für den Leistungstest UTT wird der RMS angegeben.

re unter Einfluss der Stressoren, abgebildet. Der Verlauf der Leistungsfähigkeit gemittelt über alle Probanden ist so für jeden einzelnen Leistungstest aus der AGARD-STRES-Battery aufgeführt.

4.2.2. Lernkurven

Bei der Analyse der Ergebnisse dieser Trainingsreihen zeigen sich sowohl bei den einzelnen Leistungstest als auch bei den Probanden unterschiedliche Lernkurven. Dieser Trainingserfolg hängt von den individuellen Fähigkeiten, Vorerfahrungen und auch vom Schwierigkeitsgrad der Leistungstests ab. Einfache Reaktionstest, wie der SRT (Abb. 4.6), wurden nach kurzer Trainingsphase soweit eingeübt, dass keine weiteren Leistungssteigerungen mehr zu erwarten waren.

Dagegen setzen komplexe Aufgaben, wie das GRT (Abb. 4.11) oder das UTT (Abb. 4.25), in denen motorische Fähigkeiten oder logisches Denkvermögen abgefragt wurden, lange Trainingsphasen voraus. Dies zeigt sich auch im Verlauf der Ergebnisse aus den Leistungstests.

Während der PSD Studie wurden die Leistungstests unter Einfluss von Hypoxie (Hyp), Alkohol (Alk) und verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4) durchgeführt. In welche Richtung die Leistungsfähigkeit variiert, soll in den nachfolgenden Kapiteln zu den Ergebnissen der einzelnen Leistungstests genauer betrachtet werden. In der PSD Studie wurde die erste Variante mit den Durchgängen GRT, MST, UTT und DUT gewählt. Danach mussten die Probanden den SRT (variiert nach Dinges), gefolgt von der TLX, bearbeiten. Übersichtshalber werden zunächst die Ergebnisse des SRT vorgestellt, der durch seine einfache Aufgabenstellung wenige Trainingssitzungen erforderte, um ein stabiles Leistungsplateau zu erreichen.

4.2.3. SRT Single Reaction Task

Beim Single Reaction Task (SRT) wird die Aufmerksamkeit und Vigilanz einer Versuchsperson auf einen Einzelreiz getestet. Die einfache Aufgabenstellung - modifiziert nach Dinges und Powell [1985], die Probanden mussten auf eine hochlaufende Stoppuhr mit einem Tastendruck reagieren - erleichterte das Training. Die Probanden haben in diesem Reaktionszeittest nach gerade 15 Sitzungen in der Trainingsphase ein stabiles Leistungsplateau erreicht. Dies ist durch die einfache Aufgabenstellung im Gegensatz zu den anderen Testverfahren erklärbar. Sobald der Proband das Signal auf dem Bildschirm sieht, stoppt er die Uhr durch einen Tastendruck. Nach erfolgter Reaktion wird die erreichte Zeit gemessen und dem Probanden aus Motivationsgründen für 3 sec auf dem Monitor angezeigt. Nach dem Zufallsintervall erscheint dann der nächste Stoppuhrlauf. Die Abbildung 4.6 stellt die Mittelwerte des Reaktionszeittests über alle Probanden bezogen auf einen probandenbezogenen Kontrollwert für jede Sitzung (1 bis 62) als Graph dar. Der Kontrollwert wurde als Mittelwert der Kontrolltage 2 und 3 errechnet. In der linken Hälfte des Diagramms sind die Testergebnisse der Trainingsphase dargestellt. In der Studienphase ab der Linie „Studienbeginn“ wurden die Sitzungen zu definierten Tageszeiten abgelegt. Die gestrichelte Linie in der Studienphase gibt den Übergang von Tag zu Tag (also die Nacht) wieder. Alle Stressoren, die während der Studienphase als Einflussparameter wirkten, sind auf der Abszissenachse über den Tag verteilt eingetragen worden. Diese sind zunächst Hypoxie (Hyp), Alkohol (Alk) und die anschließenden Tage mit verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4). Anhand dieser Graphik ist eine Abweichung von dem trainierten Plateau mit einer Verschlechterung der Leistung bis etwa 15% unter Einfluss der Stressoren erkennbar. Die Darstellung des Gruppenergebnisses einzelner Leistungstest in der Trainings- und Studienphase wird in den nachfolgenden Kapiteln nach diesem Schema erfolgen. Während des Trainings wurden die Sitzungen unabhängig von bestimmten

Tageszeiten durchgeführt. In der Studienphase mussten die Probanden entsprechend dem Studiendesign zu festgelegten Tageszeiten die Tests absolvieren.

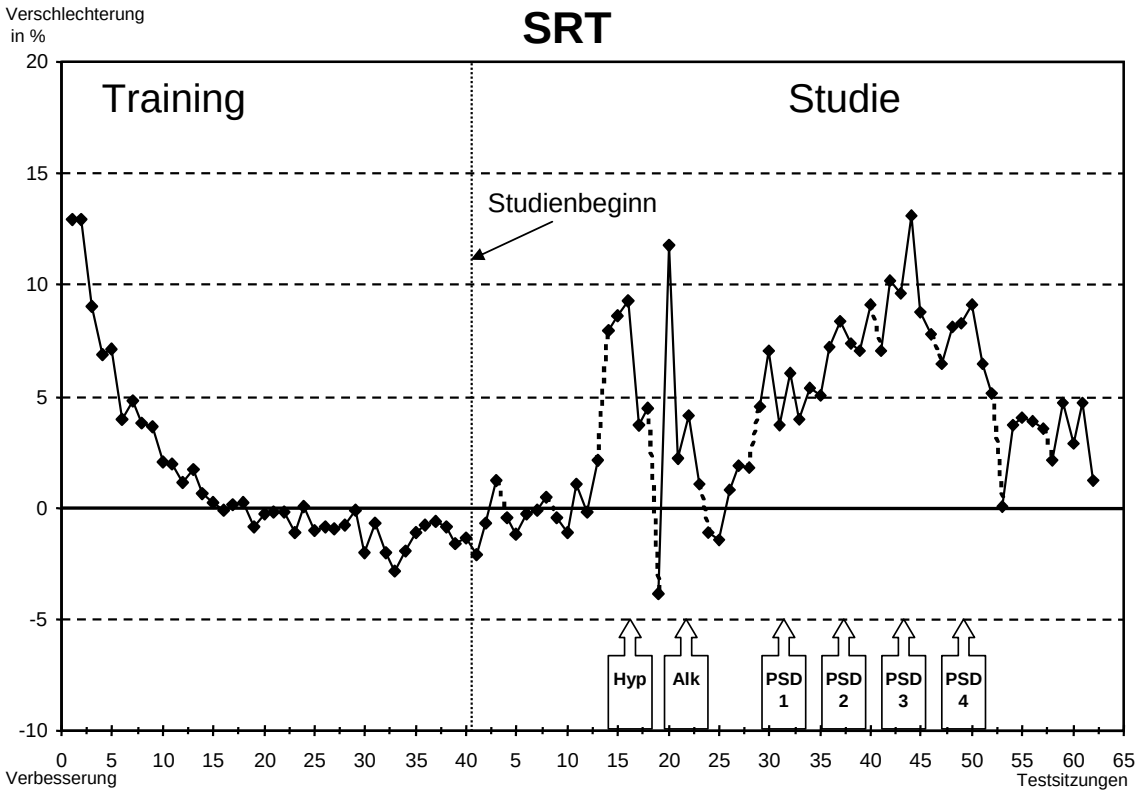


Abb. 4.6.: Der Reaktionstest auf einen Einzelreiz (engl. Single Reactiontime Task, SRT) testet die Aufmerksamkeit und Vigilanz einer Versuchsperson auf einen Einzelreiz. Das Diagramm gibt die Leistung der Gruppe im gesamten Verlauf (Training und Studie) für jede Sitzung wieder. Es zeigt die prozentuale Abweichung der Ergebnisse aus dem SRT Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden - gemittelt über die Probanden A-H. Dieser Reaktionszeittest -modifiziert nach Dinges und Powell [1985]- benötigt mit ungefähr 15 Sitzungen über alle Probanden die kürzeste Trainingszeit aller Testmodalitäten bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus.

Da das Cross-Over-Design für die Parameter Hypoxie (Tag 4) und Alkohol (Tag 5) gewählt wurde, müssen die Daten jedoch entsprechend korrigiert werden. Diese Korrektur ist auf der nachfolgenden Abb. 4.7 erfolgt. Eine statistische Analyse der Daten nach Wilcoxon ergibt eine signifikante Verschlechterung der Leistungsfähigkeit der Gruppe unter Einfluss der Stressoren. So führt eine Hypoxie von 11,5% O_2 zu einer Verlängerung der Reaktionszeiten um 9,3% (z=-2.38; p=0,017) gegenüber dem Kontrollwert, eine Alkoholkonzentration von ca. 0,7‰ zu einer Verlängerung um 16,9% (z=-2.38; p=0,017) und bei der partiellen Schlafdeprivation wurde am dritten Tag nach Schlafentzug eine Verschlechterung um 13,1% (z=-2.38; p=0,017) beobachtet.

Betrachtet man den tageszeitlichen Ablauf (siehe Tabelle 4.7 und Abb. 4.8), zeigt sich ebenfalls eine signifikante Verschlechterung (z=-2.023; p=0,043) der Leistungsfähigkeit der Mittelwerte aus den Kontrolltagen und aus den Tagen mit verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4).

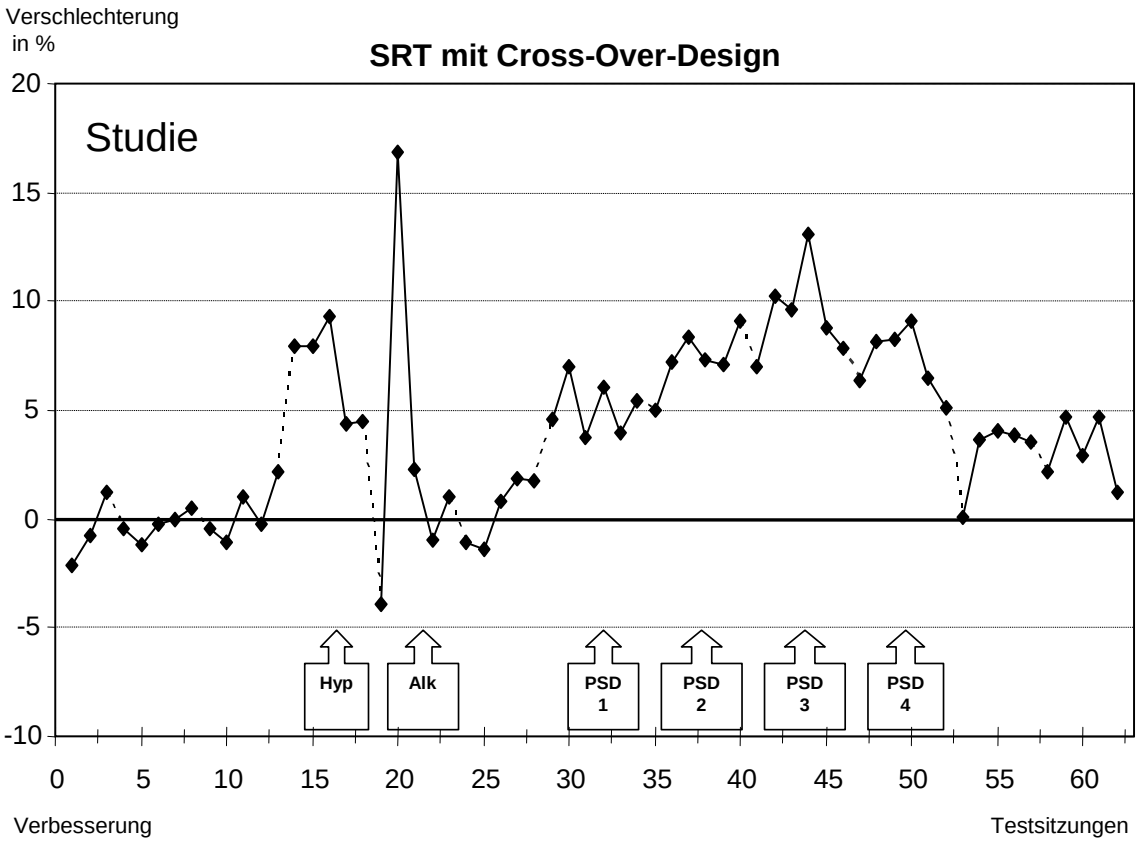


Abb. 4.7.: SRT Leistungsdaten und ihre relative Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert (siehe Tabelle 4.6)

.

Wertet man die Leistungsfähigkeit aller Probanden an allen Tagen mit verkürzter Schlafdauer nach der Tageszeit aus, fällt eine zirkadiane Komponente der Leistungsfähigkeit mit Leistungseinbussen nach den Mahlzeiten auf. Diese zirkadiane Komponente ist auch an den Tagen der verkürzten Schlafdauer (PSD) nachweisbar, wobei eine zusätzliche

Uhrzeit	Kontrolle	Hypoxie	Alkohol
09:00	-0,42	7,91 (21% O_2)	-3,89 (0‰ BAK)
12:00	-1,14	7,98 (10% O_2)	16,85 (0,7‰ BAK)
15:00	0,38	9,28 (11,5% O_2)	2,24 (0,3‰ BAK)
18:00	-0,15	4,38 (13% O_2)	-0,94 (0,1‰ BAK)
21:00	1,32	4,44 (21% O_2)	1,05 (0‰ BAK)

Tabelle 4.6.: Korrigierte Mittelwerte SRT gemittelt über A-H nach Cross-Over-Design Hypoxie und Alkohol. Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und anschließend gemittelt über A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 9,28% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 16,85% bei 0,7‰ BAK gemessen.

Uhrzeit	Kontrolle	PSD 1	PSD 2	PSD 3	PSD 4
06:00		4,54	5,00	7,02	6,41
09:00	-0,42	7,04	7,21	10,21	8,11
12:00	-1,14	3,74	8,35	9,64	8,28
15:00	0,38	5,99	7,36	13,10	9,09
18:00	-0,15	3,98	7,07	8,82	6,43
21:00	1,32	5,39	9,10	7,82	5,15

Tabelle 4.7.: Tageszeitliche Mittelwerte des SRT gemittelt über A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Die höchsten Leistungseinbußen mit 13% und damit längeren Reaktionszeiten wurden nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) gemessen.

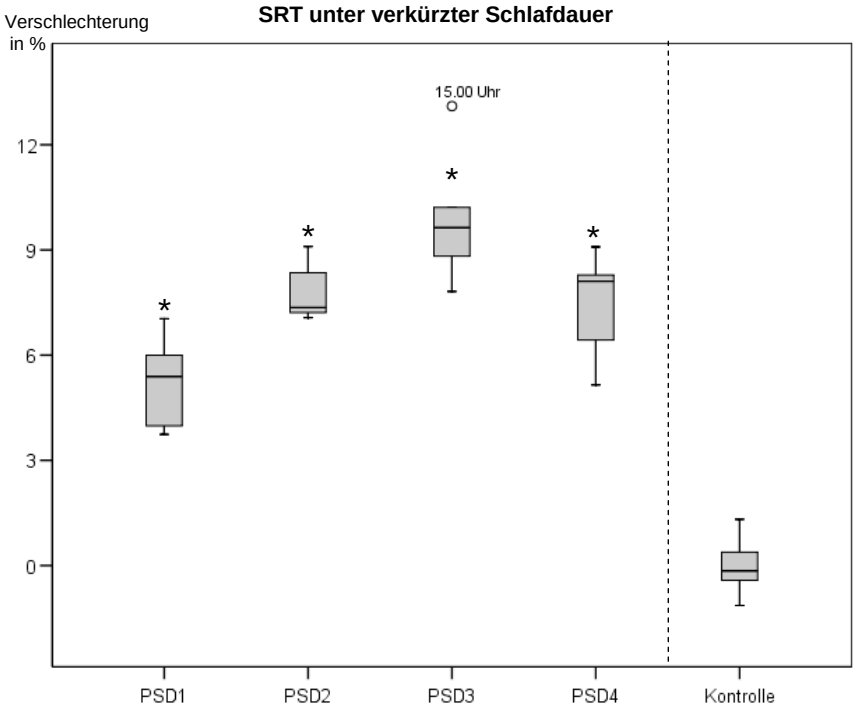


Abb. 4.8.: Boxplot Diagramm der relativen Veränderungen im SRT im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. An allen Tagen mit verkürzter Schlafdauer kommt es zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung (z=-2.023; p=0,043), was mit „*“ gekennzeichnet wurde. Die Zunahme der Reaktionszeiten des SRT im Vergleich zu den Kontrollwerten steigt bis zur 3.Nacht mit verkürzter Schlafdauer an. Insbesondere der 15.00 Uhr-Wert des PSD Tag 3 fällt mit einer Verschlechterung der Leistungsfähigkeit von 13% als Ausreißer auf.

Messung um 6.00 Uhr morgens erfolgte (Abbildung 4.9). Die höchste Leistungseinbusse zeigt sich während der Kontrolltage um 15.00 Uhr, also der Zeit nach Einnahme des Mittagessens und um 21.00 Uhr nach dem Abendessen. Während der Schlafentzugstage nimmt die Leistungsfähigkeit vor allem nach dem Frühstück und dem Mittagessen ab.

Zur besseren Vergleichbarkeit stellt Abbildung 4.10 die Ergebnisse des Reaktionszeittest SRT für alle drei Stressoren dar. Die einzelnen Graphiken der Leistungsfähigkeit unter unterschiedlicher Ausprägung der Stressoren verkürzte Schlafdauer, Hypoxie und Alkohol zeigen die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-10 bis 30], um so einen direkten

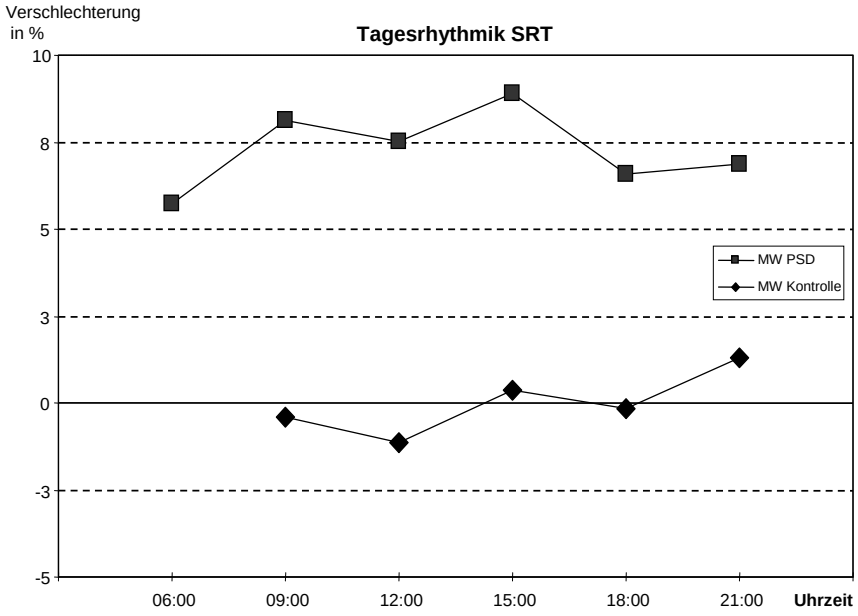


Abb. 4.9.: Tagesrhythmik SRT - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten.

Vergleich zu ermöglichen. Es kann festgehalten werden, dass alle drei Stressoren zu einer Leistungsverschlechterung führen. Schon nach der ersten Nacht findet eine Leistungsverschlechterung von 5% statt, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf fast 10% ansteigt, um in der vierten Nacht wieder auf 7% abzufallen. Der Leistungsabfall von 10% unter verkürzter Schlafdauer entspricht einer Leistungsfähigkeit unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% in der Atemluft oder einer AAK von 0,5‰.

Beim SRT wurden sowohl „Lapses“ (Proband reagiert nicht innerhalb von 500ms auf den Reiz) als auch die „Fehler“ (Proband drückt die Taste vor Erscheinen des Reizes) aufgezeichnet (die beiden Fehlerarten sind im Methodenteil auf Seite 42 beschrieben worden). Da beide Ereignisse sehr selten auftraten (im Mittelwert max. einmal pro Sitzung), war eine statistische Auswertung nicht möglich. Lediglich Proband E zeigte nach der 4. Nacht mit verkürzter Schlafdauer ein gehäuftes Auftreten von Lapses und Fehlern. Diese beiden Parameter haben sich als nicht sensibel genug erwiesen, um relativ moderate Auswirkungen der Stressoren auf die Reaktionszeiten (mit einer maximalen Verschlechterung der Leistungsfähigkeit von 17% unter Alkoholeinnahme) zu erfassen. Eine Auswertung der 10% besten Reaktionszeiten jeder Sitzung zeigte das gleiche statistische Ergebnisse wie die Mittelwertbildung über alle Reaktionszeiten.

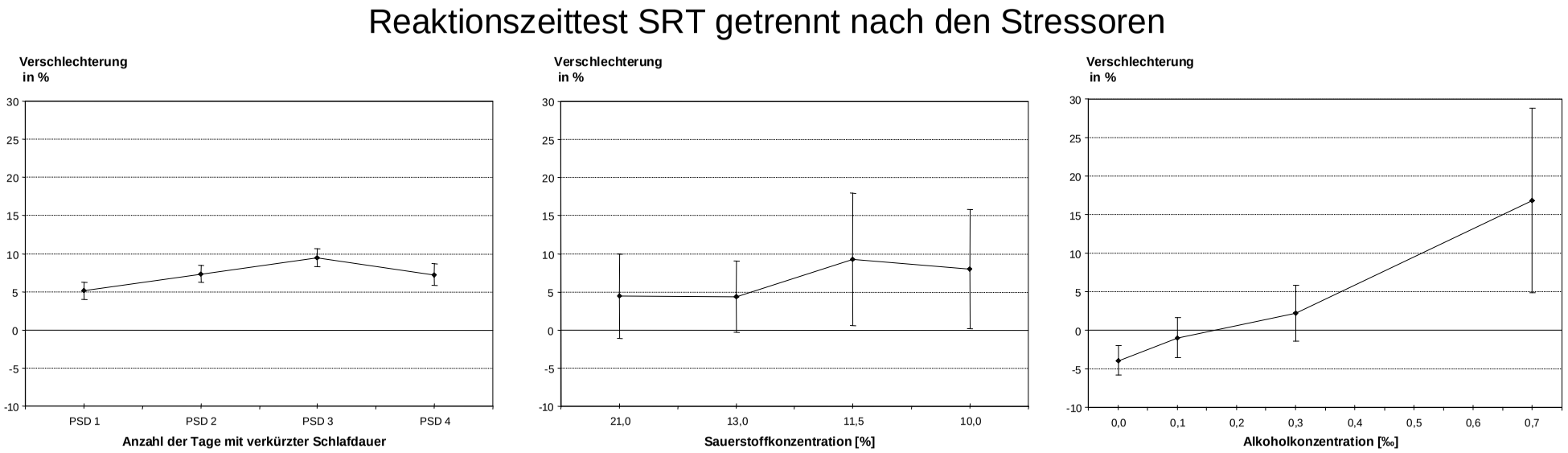


Abb. 4.10.: Vergleich der SRT Testergebnisse. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die relativen Mittelwerte des Reaktionszeittests SRT getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Durch die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-10 bis 30] ist ein direkter Vergleich der SRT Testergebnisse möglich. Alle drei Stressoren führten zu einer Leistungsverschlechterung. Die Versuchspersonen zeigen schon nach der ersten Nacht eine Leistungsverschlechterung von 5%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf fast 10% ansteigt, um in der vierten Nacht wieder auf 7% abzufallen. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von 10% zeigt sich auch unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% oder einer Alkoholkonzentration von 0,5‰. Die auffallend niedrige Streuung an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer zeigt, dass die Tagesmittelwerte der Probanden nur gering voneinander abweichen. Für die Messung der Tagesmittelwerte wurden die Ergebnisse der Sitzungen von 9:00 Uhr bis 21:00 Uhr verwendet (5 Messwerte). Der 6:00 Uhr Wert wurde nicht berücksichtigt, um einen Vergleich mit den Kontrolltagen zu ermöglichen.

4.2.4. GRT Grammatical Reasoning Task

Mit Hilfe der Satzverifikation (*engl.* Grammatical Reasoning Task, GRT) wurde das logische Denkvermögen der Probanden getestet. In der Aufgabenstellung erscheinen die drei Zeichen ‹∗ # & › in einer bestimmten Reihenfolge. Darunter steht eine Aussage, die in Bezug auf die Symbole als richtig oder falsch zu beurteilen ist. Gemessen wird die Zeit des Probanden, bis er eine Auswahl trifft. Neben der Zeit wird die prozentuale Fehlerrate sowohl bei gleichem Wahrheitswert als auch bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation bestimmt.

Beim GRT handelt es sich um eine komplexe Aufgabenstellung, bei der sich im Nachhinein gezeigt hat, dass 40 Sitzungen zum Erreichen eines Lernplateaus nicht ausreichend sind. So fanden sich während der Studie bei 6 von 8 Probanden (A, B, E, F, G, H) noch Lerneffekte. Um diese fortdauernden Lerneffekte zu eliminieren und zur Bestimmung von Kontrollwerten wurde eine Anpassung durch individuelle Geraden durchgeführt. Für die beiden Probanden (C und D), die ihr Lernplateau während der Trainingsphase erreicht hatten, konnten als Kontrollwerte die Kontrolltage 2 und 3 gewählt werden.

Die rechnerische Korrektur der Lerneffekte wurde für jeden Probanden durchgeführt und die prozentuale Abweichung der Entscheidungszeiten aus dem GRT Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden gesetzt. Das stabile Plateau wurde somit errechnet und als Referenzwert (= Nullinie) gesetzt. In der Abbildung 4.11 wird der Gesamtverlauf aus Training und Studie gemittelt über die Probanden A-H dargestellt.

Nachdem die Lerneffekte herausgerechnet und passende Kontrollwerte ermittelt wurden, konnten die Daten entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und relative Veränderungen des GRT im Vergleich zur Kontrolle gemittelt über die Gesamtgruppe (A-H) berechnet werden (siehe Tabelle 4.8).

Uhrzeit	Kontrolle	Hypoxie	Alkohol
09:00	-0,08	12,12 (21% O_2)	-7,03 (0‰ BAK)
12:00	0,03	3,59 (10% O_2)	10,39 (0,7‰ BAK)
15:00	-3,34	15,63 (11,5% O_2)	-1,14 (0,3‰ BAK)
18:00	4,28	2,41 (13% O_2)	-4,37 (0,1‰ BAK)
21:00	3,92	4,69 (21% O_2)	-0,25 (0‰ BAK)

Tabelle 4.8.: Korrigierte Mittelwerte der Reaktionszeiten beim GRT gemittelt über A-H nach Cross-Over-Design Hypoxie und Alkohol. Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und anschließend gemittelt über A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 15,63% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 10,39% bei 0,7‰ BAK gemessen.

Das Ergebnis dieser Auswertung gibt die Abbildung 4.12 wieder. Während der Studie führten Hypoxie, Alkohol und Tage mit verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4) zu einer

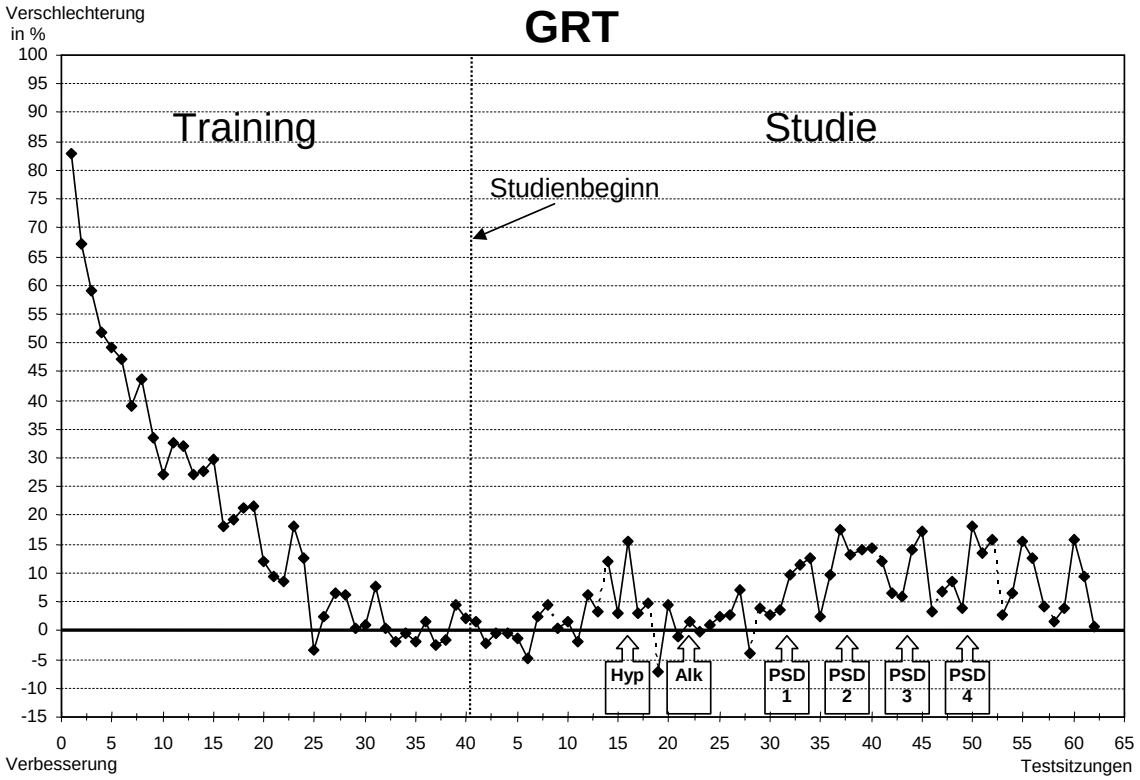


Abb. 4.11.: Der gesamte Verlauf (Training und Studie) der Ergebnisse einzelner Sitzung des GRT Leistungstests. Dieser Leistungstest stellt Anforderungen an das logische Denkvermögen [Bradley, 1968]. Das Diagramm zeigt die prozentuale Abweichung der Entscheidungszeiten aus dem GRT Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden - gemittelt über die Probanden A-H. Da die Mehrheit der Probanden (A, B, E, F, G, H) nach der Trainingsphase noch Lerneffekte im Sinne einer Abnahme der Reaktionszeiten zeigte, wurde zur Bestimmung der Kontrollwerte in der Studienphase eine Anpassung durch individuelle Geraden durchgeführt. Der Nachteil dieser Methode ist, dass nur eine grobe Annäherung erreicht wird. Nachdem die Lerneffekte nach Trainingsphase rechnerisch korrigiert wurden, ist eine Plateaubildung an den letzten Tagen des Trainings, bzw. an den ersten stressorfreien Tagen der Studie erkennbar, die als Referenz gilt und in diesem Diagramm die Nulllinie darstellt. An den Tagen unter Hypoxie und (weniger) unter Alkoholeinfluss zeigt sich eine Leistungsverschlechterung der Gruppe, die bis zu 15% reicht. An den anschließenden stressorfreien Tagen wird eine Erholung mit Erreichen der Nulllinie beobachtet. An den Tagen mit verkürzter Schlafdauer (PSD) kommt es abermals zu Leistungsverschlechterungen von bis 20%, die sich auch an den letzten Tagen der Studie mit normaler Schlafdauer fortsetzen. Diese Graphik ist noch nicht entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert worden.

Verlängerung der Entscheidungszeiten, die als positive Zahlenwerte (Verschlechterung in%) erscheinen.

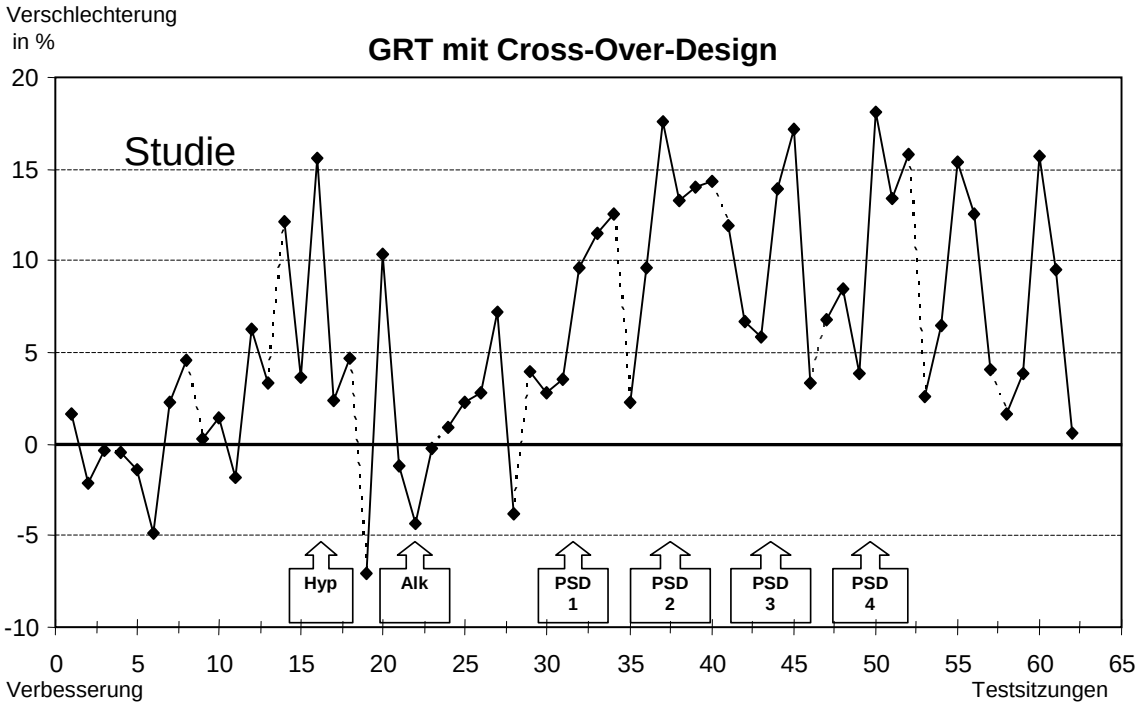


Abb. 4.12.: Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert. Relative Veränderungen des GRT im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Anhand dieser Graphik ist schon eine Verschlechterung an den Tagen unter Einfluss der Stressoren erkennbar. Dabei wirkt sich Hypoxie deutlicher auf die Entscheidungszeiten aus als Alkohol. Auch an den stressorfreien Tagen unmittelbar nach der Periode mit verkürzter Schlafdauer zeigt sich eine Leistungseinbusse von bis zu 15%. Für eine vollständige Erholung sind somit noch weitere stressorfreie Nächte als nur 2 Nächte notwendig.

Beim GRT ist ähnlich dem SRT eine Tagesrhythmik erkennbar, die insbesondere an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer sich etwas deutlicher abhebt (siehe Abbildung 4.13). Diese Tagesrhythmik zeigt eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit an den Nachmittag- und Abendsitzungen. Zwischen den Vormittag- und Nachmittagsitzungen sind Verschlechterungen von bis zu 7% nachweisbar.

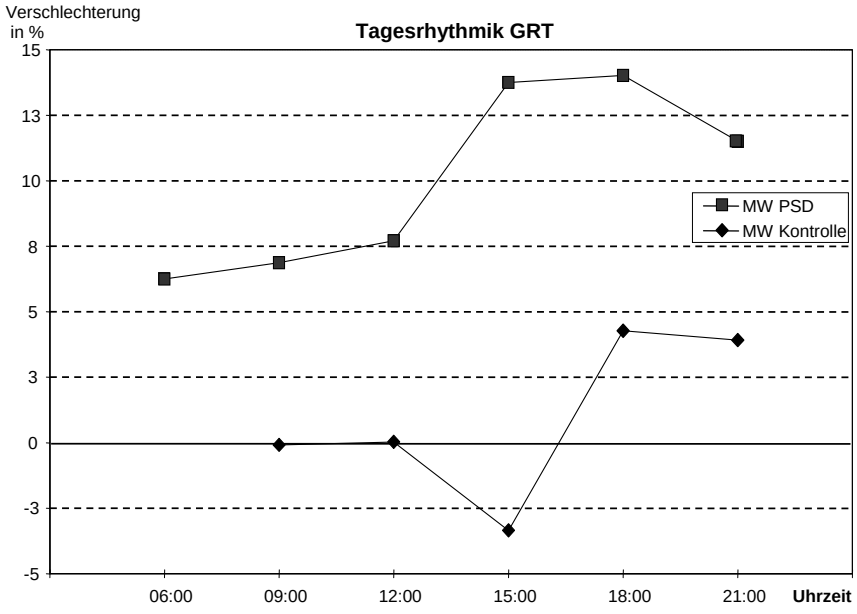


Abb. 4.13.: Tagesrhythmik der Reaktionszeiten beim GRT - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten.

In der Abbildung 4.14 sind die Leistungsergebnisse der Reaktionszeiten des GRT als Mittelwert aus Kontroll- und aller Schlafentzugstagen gegenübergestellt worden. Der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben zeigt eine signifikante Verschlechterung der Leistungsfähigkeit (z=-2.023; p=0,043) an allen Tagen mit verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4) (siehe Tabelle 4.9).

Uhrzeit	Kontrolle	PSD 1	PSD 2	PSD 3	PSD 4
06:00		3,97	2,30	11,94	6,78
09:00	-0,08	2,82	9,61	6,63	8,42
12:00	0,03	3,57	17,61	5,81	3,86
15:00	-3,34	9,66	13,31	13,92	18,15
18:00	4,28	11,49	14,04	17,17	13,38
21:00	3,92	12,58	14,39	3,29	15,80

Tabelle 4.9.: Tageszeitliche prozentuale Abweichungen des GRT gemittelt über A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] der Reaktionszeiten vom Mittelwert der Kontrolltage an. Die höchsten Leistungseinbußen der Reaktionszeiten mit über 18% wurden nach der vierten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 4) um 15:00 Uhr gemessen.

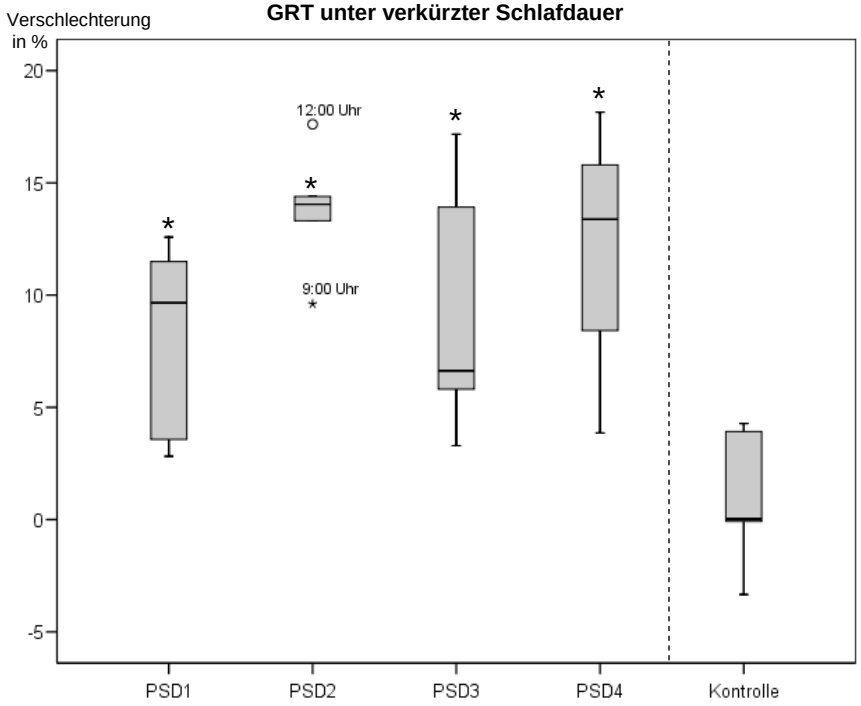


Abb. 4.14.: Boxplot Diagramm der GRT Reaktionszeiten. Dargestellt sind die relativen Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Die an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer durchgeführte 6:00 Uhr Messung wurde nicht in die Mittelwertberechnung aufgenommen, um einen Vergleich mit den Kontrolltagen zu ermöglichen. An allen Tagen mit verkürzter Schlafdauer kommt es zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung (*) mit Zunahme der Reaktionszeiten im Vergleich zu den Kontrollwerten (z=-2.023, p=0.043).

Die Abbildung 4.15 gibt die Mittelwerte der Reaktionszeiten des GRT für alle drei Stressoren wieder. Die einzelnen Graphiken der Leistungsfähigkeit unter unterschiedlicher Ausprägung der Stressoren verkürzte Schlafdauer, Hypoxie und Alkohol zeigen die

gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-20 bis 40] als Verschlechterung in %, um so einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass alle drei Stressoren (PSD ab dem 1.Tag, Sauerstoffmangel bei allen Konzentrationen, Alkohol ab 0,3‰) zu einer Leistungsverschlechterung führen. Bei Hypoxie wirkt sich die Beeinträchtigung durch die Sauerstoff-Maske ebenfalls auf die Leistungsfähigkeit aus, so dass erst Werte über 5% (Normale Sauerstoffkonzentration mit 21% ergab eine Leistungsverschlechterung von 5%) als Leistungsminderung gewertet werden. Schon nach der ersten Nacht findet eine Leistungsverschlechterung von 7% statt, die nach den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD 2-4) Werte zwischen 10% und 12% erreichen. Der Leistungsabfall von 10% unter verkürzter Schlafdauer entspricht einer Leistungsfähigkeit unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% in der Atemluft oder einer AAK von ca. 0,7‰.

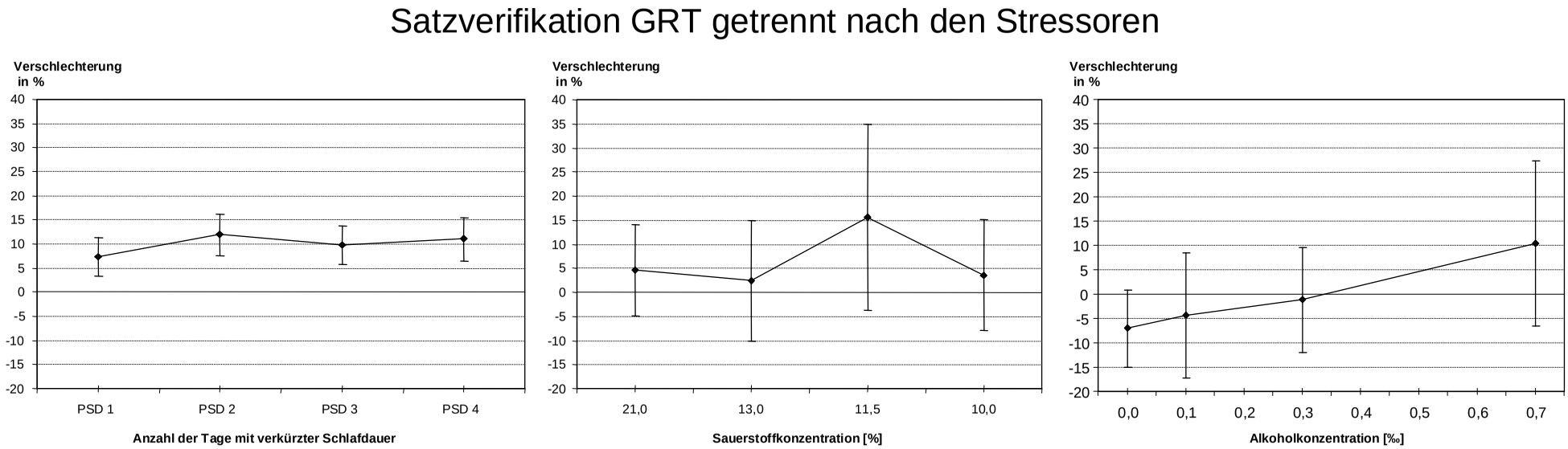


Abb. 4.15.: Vergleich der GRT Testergebnisse. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die relativen Mittelwerte der Satzverifikation GRT getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol einander gegenübergestellt. Durch die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-20 bis 40] ist ein direkter Vergleich der GRT Testergebnisse möglich. Die Versuchspersonen zeigen schon nach der ersten Nacht eine Leistungsverschlechterung der Reaktionszeiten von 7%, die nach den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD 2-4) Werte zwischen 10% und 12% erreichen. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von etwas mehr als 10% zeigt sich auch unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% oder einer Alkoholkonzentration von 0,7‰.

Als nächstes wird die Fehlerrate beim GRT bestimmt. Dabei kann ein Fehler bei gleichem Wahrheitswert als auch bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation (siehe Abbildung 4.16) auftreten.

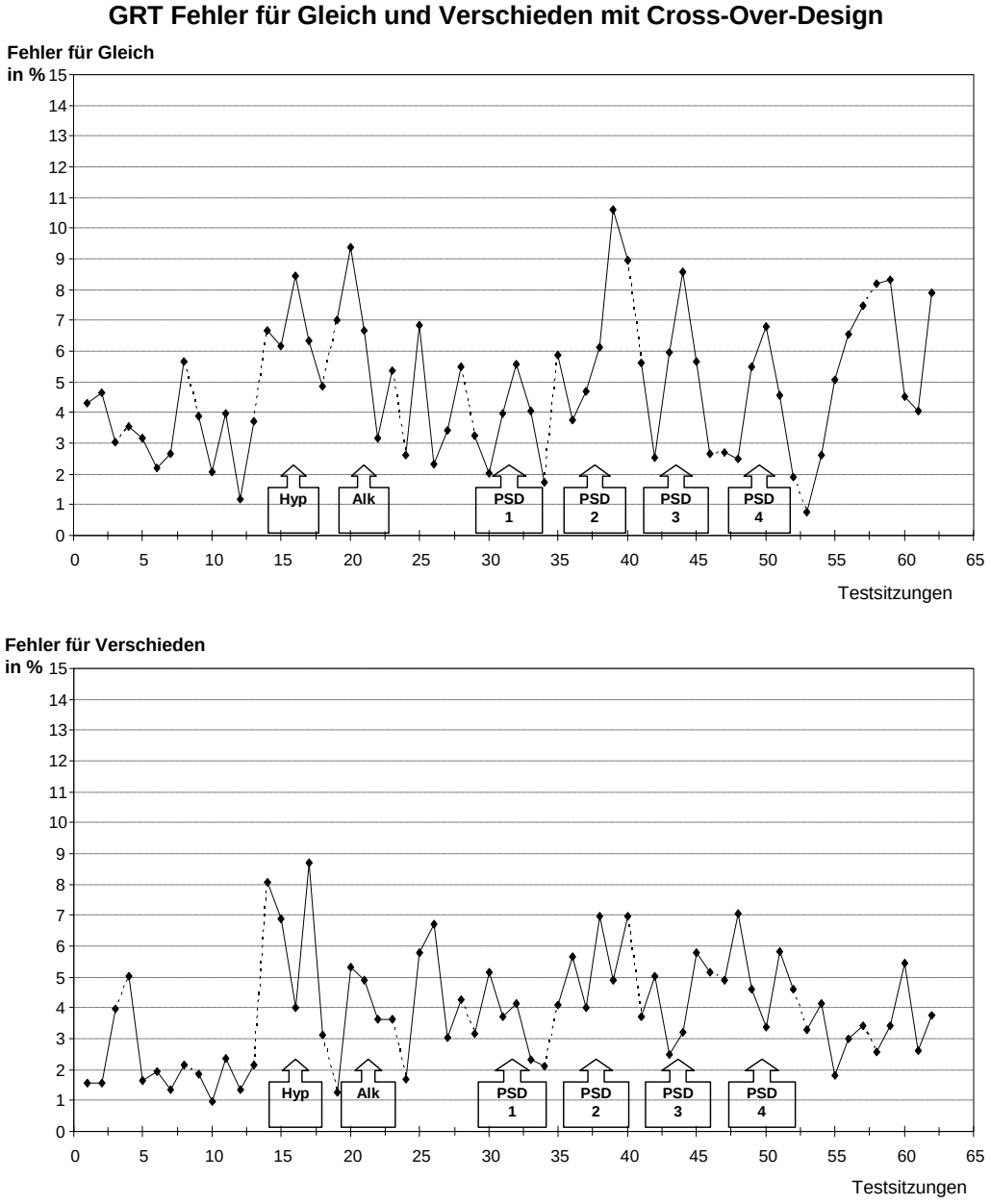


Abb. 4.16.: Diagramm der GRT-Fehler für jede Sitzung. Die obere Graphik zeigt die Fehler bei gleichem Wahrheitswert, die untere bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation. Hypoxie, Alkohol und verkürzte Schlafdauer ab der 2.Nacht führen zu einer Zunahme der Fehlerrate in beiden Fehlerarten. An den Kontrolltagen beträgt die Fehlerquote bei gleichem Wahrheitswert $3,2 \pm 1,05\%$ und $2,1 \pm 0,87\%$ bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 8,7% unter 10% O_2 bzw. auf 9,4% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,7‰ an. Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar.

An den Kontrolltagen beträgt die Fehlerquote bei gleichem Wahrheitswert $3,2 \pm 1,05\%$ und $2,1 \pm 0,87\%$ bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation. An den Tagen

unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 8,7% unter 10% O_2 bzw. auf 9,4% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,7‰ an. Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar. Sie ist signifikant ab der 2. Nacht und den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD2 bis PSD4) für den Fehler für Verschieden erhöht (z=-2.023, p=0.043). Der Fehler für Gleich ist ab der 2.Nacht ebenfalls erhöht, zeigt aber im Vergleich zu den Kontrolltagen keine Signifikanz (siehe Abbildung 4.17).

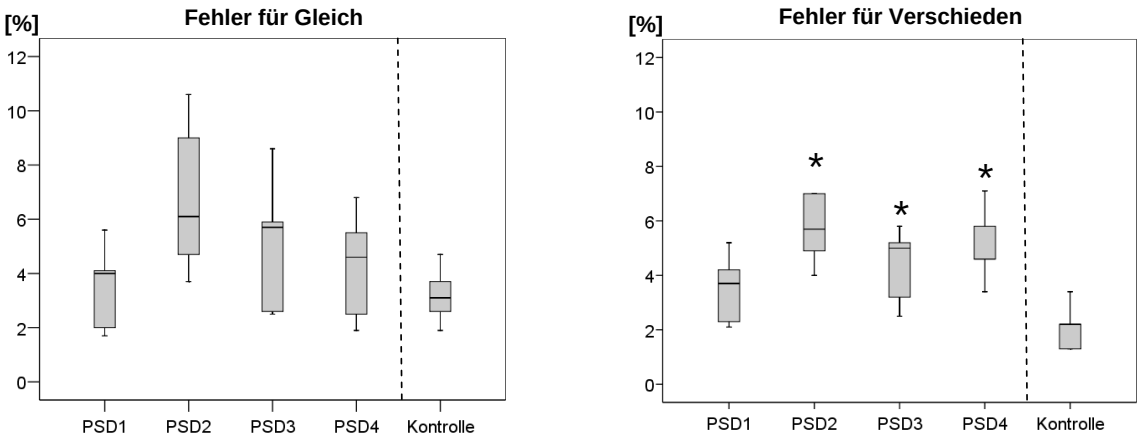


Abb. 4.17.: Boxplot Diagramm der GRT Fehler für Gleich und für Verschieden. An den Tagen mit verkürzter Schlafdauer ist eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar. Sie ist signifikant ab der 2. Nacht und den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD2 bis PSD4) für den Fehler für Verschieden erhöht ((z=-2.023, p=0.043)). Der Fehler für Gleich ist ab der 2.Nacht ebenfalls erhöht, zeigt aber im Vergleich zu den Kontrolltagen keine Signifikanz.

4.2.5. MST Memory Search Task

Mit Hilfe der Gedächtnissuche (*engl.* Memory Search Task, MST) wurde das Kurzzeitgedächtnis der Probanden getestet. Für das Positiv-Set wurde eine Set-Größe von 4 Buchstaben gewählt. Positive und negative Testitems traten mit derselben Wahrscheinlichkeit innerhalb der Testserie auf. Die Zahl der Einzelreaktionen wurde über den self-paced Modus der Aufgabe von den Probanden induziert. Probanden mit kurzen Reaktionszeiten absolvieren eine größere Anzahl an Einzeltests (= hohe Ereignisdichte). Während der Trainingsphase benötigten die Probanden im Mittel etwa 20 Sitzungen zum Erreichen eines stabilen Plateaus (siehe Abb. 4.18). Da sich keine weiteren Lerneffekte nach der Trainingsphase zeigten, konnten als Kontrollwerte die stressorfreien Kontrolltage 2 und 3 gewählt werden.

Nachdem die prozentualen Abweichungen der Reaktionszeiten aus dem MST Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden ermittelt wurden, konnten die Daten entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert werden. In der Tabelle sind die korrigierten Werte aufgeführt.

Das Ergebnis der Auswertung nach dem Cross-Over-Design gibt die Abbildung 4.19 wieder. Anhand dieser Abbildung ist eine Zunahme der Reaktionszeiten an den Tagen unter Einfluss der Stressoren erkennbar. Dabei fällt der Einfluss des Alkohols auf die Re-

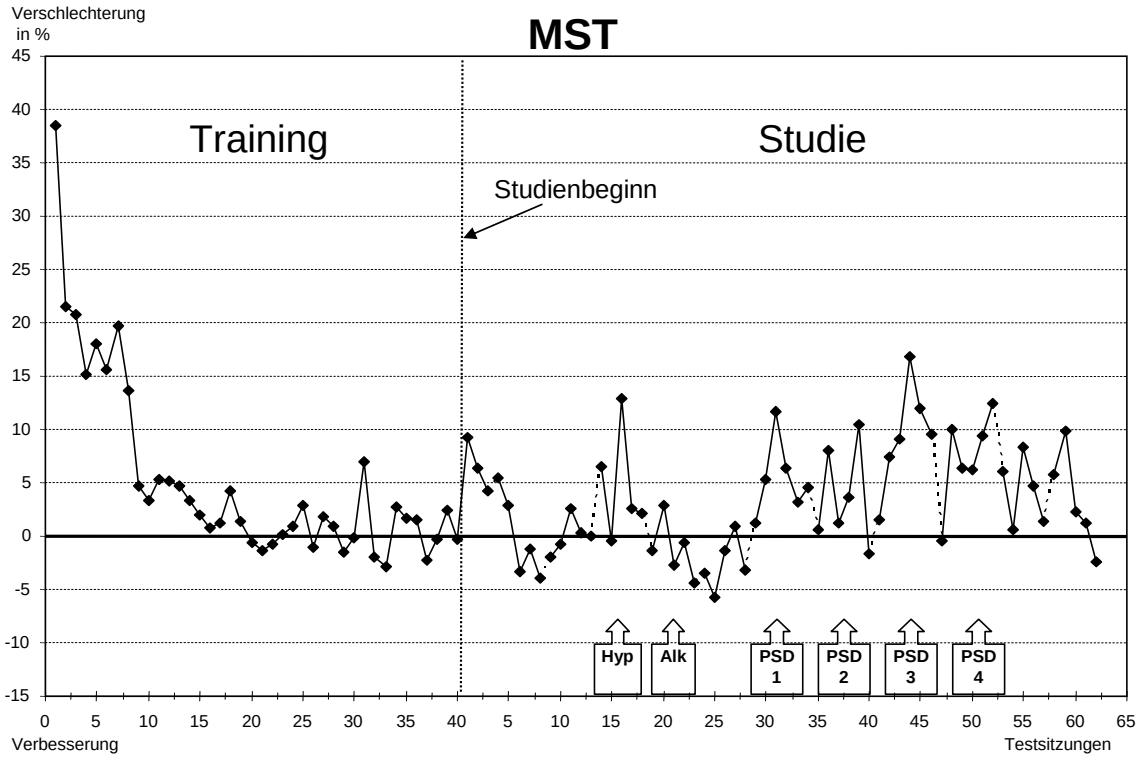


Abb. 4.18.: Der gesamte Verlauf (Training und Studie) der Ergebnisse einzelner Sitzung des MST Leistungstest. Das Diagramm zeigt die prozentuale Abweichung der Reaktionszeiten aus dem MST Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden - gemittelt über die Probanden A-H. Innerhalb der Gruppe wurden ungefähr 20 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus benötigt.

Uhrzeit	Kontrolle	Hypoxie	Alkohol
09:00	1,74	6,47 (21% O_2)	-1,34 (0‰ BAK)
12:00	1,02	0,06 (10% O_2)	5,37 (0,7‰ BAK)
15:00	-0,38	12,89 (11,5% O_2)	-2,76 (0,3‰ BAK)
18:00	-0,47	2,06 (13% O_2)	-3,03 (0,1‰ BAK)
21:00	-1,91	2,16 (21% O_2)	-4,35 (0‰ BAK)

Tabelle 4.10.: Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und anschließend gemittelt über die Probanden A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 13% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 5% bei 0,7‰ BAK gemessen.

aktionszeiten noch moderat aus bzw. es finden sich sogar verkürzte Reaktionszeiten unter Alkoholeinfluss. Lediglich bei der ersten Messung nach Alkoholeinnahme zeigt sich eine Verschlechterung der Reaktionszeiten von etwas mehr als 5%. Dagegen verschlechtern sich die Probanden bis zu 13% unter Hypoxie und 17% verkürzter Schlafdauer. Auch hier kehrt die Leistungsfähigkeit erst nach 2 Tagen ohne Stressoreneinfluss auf das ursprüngliche Plateau zurück.

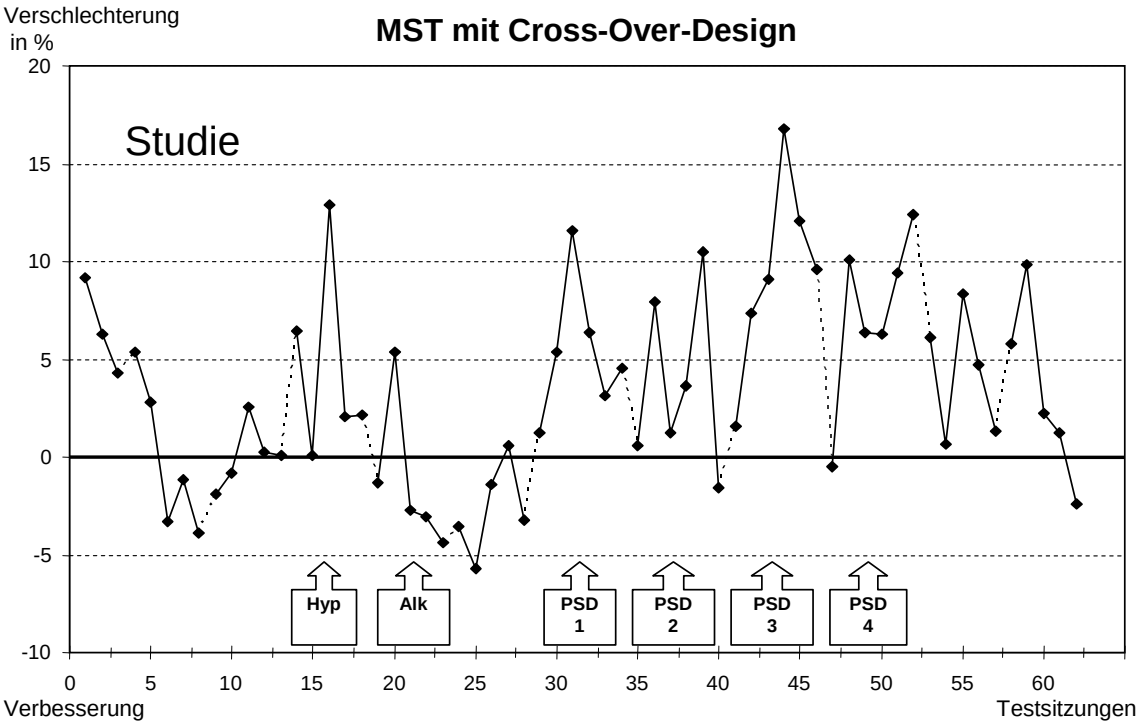


Abb. 4.19.: Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert. Relative Veränderungen des MST im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Anhand dieser Graphik ist schon eine Verschlechterung an den Tagen unter Einfluss der Stressoren erkennbar. Dabei fällt der Einfluss des Alkohols auf die Reaktionszeiten noch moderat aus. Lediglich bei der ersten Messung nach Alkoholeinnahme zeigt sich eine Verschlechterung der Reaktionszeiten von etwas mehr als 5%. Dagegen zeigen die Probanden unter Hypoxie und verkürzter Schlafdauer eine Zunahme der Reaktionszeiten, die bis zu 13% unter Hypoxie und 17% unter verkürzter Schlafdauer reicht.

Als Nächstes wurden die tageszeitlichen Schwankungen des MST an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer ermittelt. Beim MST zeigte sich eine Tagesrhythmik, die insbesondere an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer deutlich wird (siehe Abbildung 4.20).

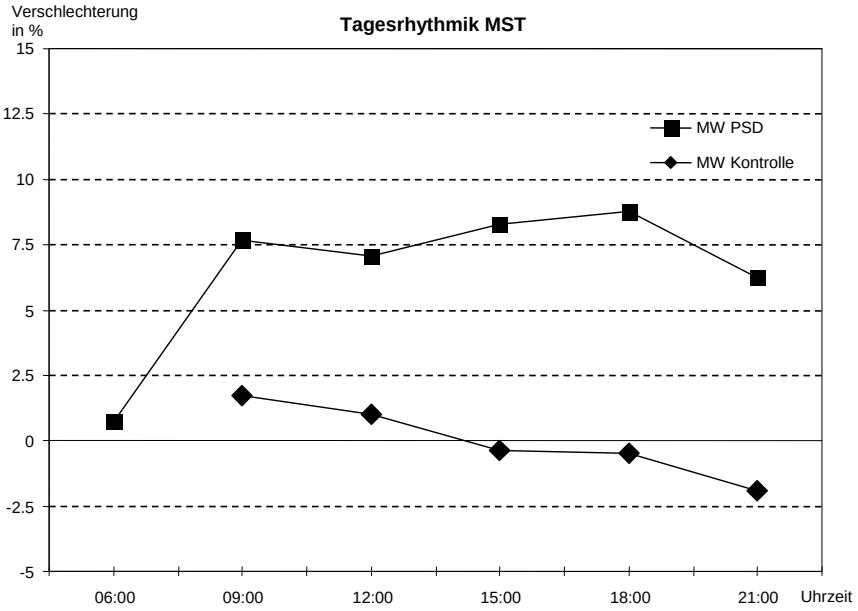


Abb. 4.20.: Tagesrhythmik MST - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten.

Auch der tageszeitliche Ablauf des MST (siehe Tabelle 4.11) zeigte eine signifikante Verschlechterung (z=-2.023; p=0,043) der Leistungsfähigkeit an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4).

Uhrzeit	Kontrolle	PSD 1	PSD 2	PSD 3	PSD 4
06:00		1,24	0,54	1,55	-0,49
09:00	1,74	5,36	7,96	7,39	10,07
12:00	1,02	11,60	1,21	9,08	6,40
15:00	-0,38	6,32	3,64	16,77	6,27
18:00	-0,47	3,12	10,52	12,04	9,46
21:00	-1,91	4,53	-1,60	9,60	12,43

Tabelle 4.11.: Tageszeitliche prozentuale Abweichungen des MST gemittelt über A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Die höchsten Leistungseinbußen mit über 16% wurden nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) um 15:00 Uhr gemessen.

In der Abbildung 4.21 wurden die Leistungsergebnisse als Mittelwert aus Kontrolle und aller Schlafentzugstagen einander gegenübergestellt. Der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben zeigt eine signifikante Verschlechterung der Leistungsfähigkeit (z=-2.023; p=0,043) schon nach der 1.Nacht mit verkürzter Schlafdauer und den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD1 bis PSD4).

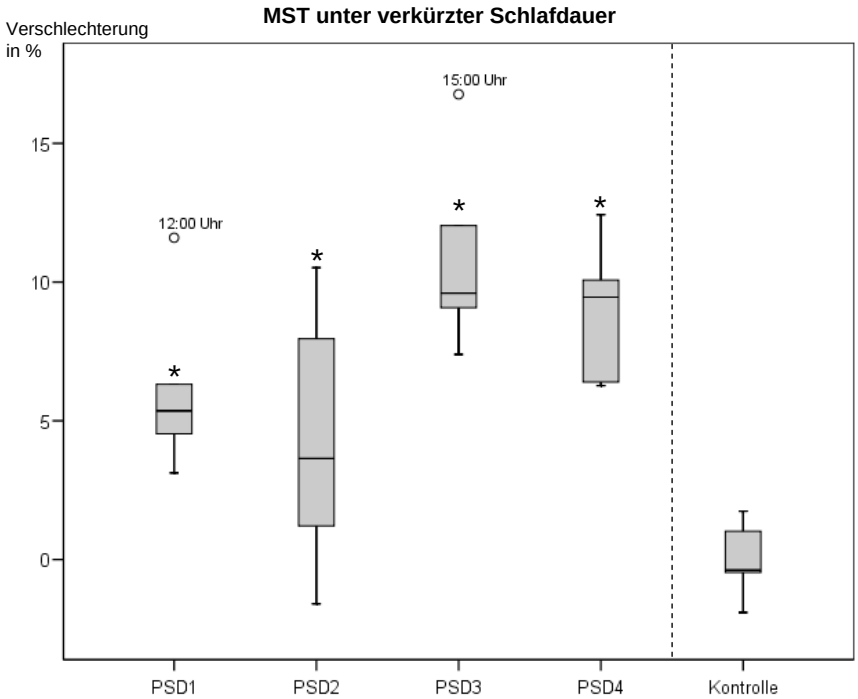


Abb. 4.21.: Boxplot Diagramm der MST Leistungstest. Dargestellt sind die relativen Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Nach der ersten Nacht mit verkürzter Schlafdauer kommt es zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung (*) mit Zunahme der Reaktionszeiten im Vergleich zu den Kontrollwerten (z=-2.023, p=0.043), die auch an den nachfolgenden Tagen mit verkürzter Schlafdauer weiter zunimmt. Die an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer durchgeführte 6:00 Uhr Messung wurde nicht in die Mittelwertberechnung aufgenommen, um einen Vergleich mit den Kontrolltagen zu ermöglichen.

Im Diagramm 4.22 sind die Mittelwerte der Reaktionszeiten des MST für die drei Stressoren abgebildet. Die einzelnen Graphiken der Leistungsfähigkeit unter unterschiedlicher Ausprägung der Stressoren verkürzte Schlafdauer, Hypoxie und Alkohol zeigen die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-15 bis 30] als Verschlechterung in %, um so einen direkten Vergleich zu ermöglichen. Alle drei Stressoren führen zu einer Leistungsverschlechterung (PSD ab dem 1.Tag, Sauerstoff bei allen Konzentrationen, wobei die deutlichste Leistungseinbuße bei 11,5% O_2 auftritt, bei Alkohol zeigt sich etwa ab 0,4‰ ein Effekt). Unter Hypoxie wirkt sich die Beeinträchtigung durch die Sauerstoff-Maske ebenfalls auf die Leistungsfähigkeit aus, so dass erst Werte über 5% (Sauerstoffkonzentration mit 21% in der 1. Messung ergab eine Leistungsverschlechterung von 5%) als Leistungsminderung gewertet werden. Schon nach der ersten Nacht mit verkürzter Schlafdauer findet eine signifikante Leistungsverschlechterung (z=-2.023, p=0.043) von 5% statt, die nach den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD 2-4) Werte bis 10% erreicht. In unserer Versuchsanordnung entspricht ein Leistungsabfall von 10% unter verkürzter Schlafdauer beim MST der Leistungsfähigkeit unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% in der Atemluft. Es fällt auf, dass die Probanden unter moderatem Alkohol von unter 0,4‰ schneller eine Entscheidung treffen und verkürzte Reaktionszeiten zeigen. Lediglich unter einer Alkoholkonzentration von 0,7‰ wird eine um 5% verlängerte Reaktionszeit gemessen.

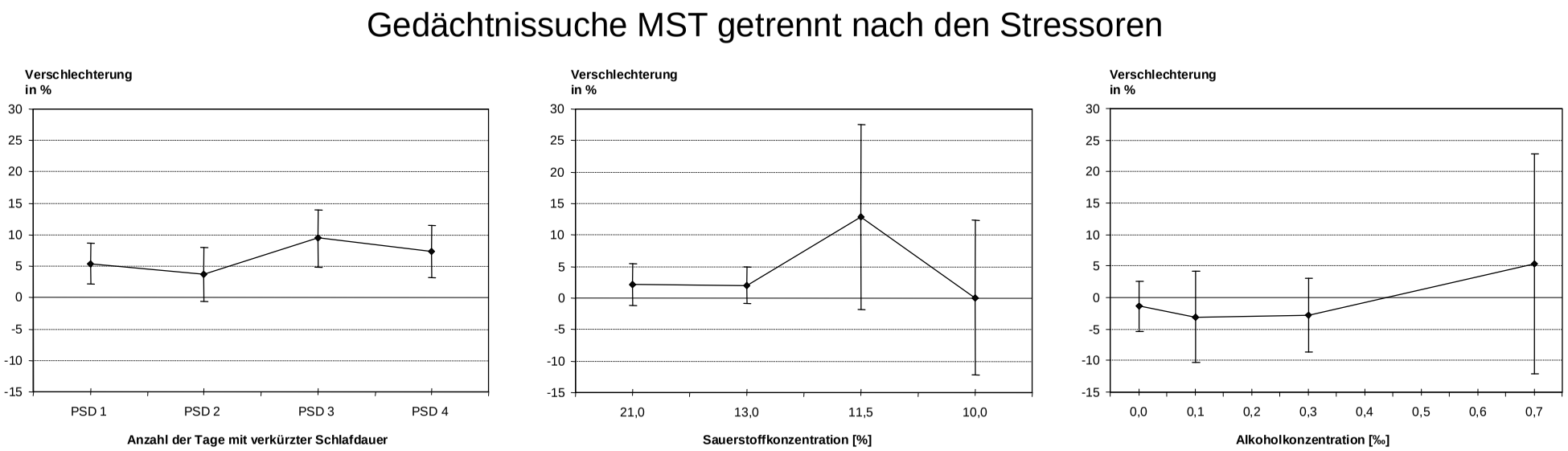


Abb. 4.22.: Vergleich der MST Testergebnisse. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die relativen Mittelwerte der Gedächtnissuche MST getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Durch die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-15 bis 30] ist ein direkter Vergleich der MST Testergebnisse möglich. Die Versuchspersonen zeigen schon nach der ersten Nacht eine Leistungsverschlechterung von 5%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf fast 10% ansteigt, um in der vierten Nacht wieder auf 7% abzufallen. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von 12% zeigt sich auch unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5%. Alkohol führt zu einer verkürzten Reaktionszeit. Lediglich unter einer Alkoholkonzentration von 0,7‰ wird eine um 5% verlängerte Reaktionszeit gemessen.

Neben den Reaktionszeiten wurde beim Test zur Gedächtnissuche auch die Fehlerrate bestimmt. Dabei wird zwischen einer positiven Fehlerart (Testitem gehörte dem Positiv-Set an und wurde nicht erkannt) und einer negativen Fehlerart (Testitem gehörte nicht dem Positiv-Set an und wurde fälschlicherweise erkannt) unterschieden.

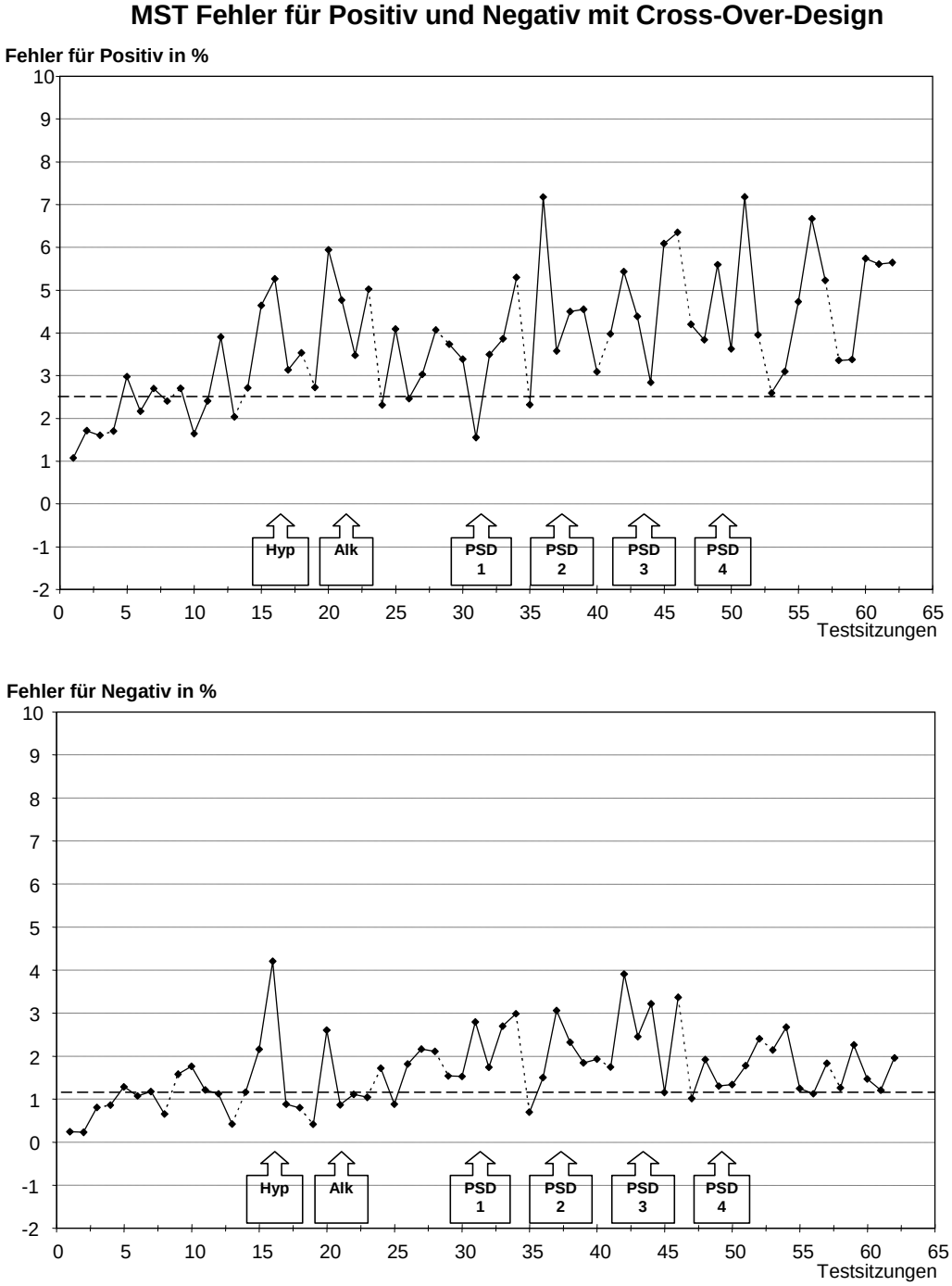


Abb. 4.23.: Diagramm der MST Fehler für jede Sitzung. Die obere Graphik zeigt die Fehler bei positiver Fehlerart, die untere bei negativer Fehlerart der Gedächtnissuche. Hypoxie, Alkohol und verkürzte Schlafdauer ab der 2.Nacht führen zu einer Zunahme der Fehlerrate in beiden Fehlerarten. An den Kontrolltagen beträgt die Fehlerquote bei positiver Fehlerart $2,5 \pm 0,47\%$ und $1,1 \pm 0,36\%$ bei negativer Fehlerart der Gedächtnissuche. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 4,6% (pos. Fehler) und 4,2% (neg. Fehler) unter 10% O_2 bzw. auf 4,8% (pos. Fehler) und 2,6% (neg. Fehler) unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,7‰ an. Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar.

An den Kontrolltagen beträgt die Fehlerquote bei negativer Fehlerart $2,5 \pm 0,47\%$ und $1,1 \pm 0,36\%$ bei positiver Fehlerart der Leistungsaufgabe zur Gedächtnissuche. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 4,6% unter 10% O_2 bzw. auf 4,8% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,7‰ an. Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar. Sie ist signifikant ab der 2. Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD2 bis PSD4) für den Fehler für Positiv erhöht ((z=-2.023, p=0.043)). Der Fehler für Negativ ist nach der 1. und 2. PSD-Nacht ebenfalls signifikant erhöht, zeigt aber keine Signifikanz für die Fehlerrate nach der 3. und 4. PSD-Nacht. (siehe Abbildung 4.24).

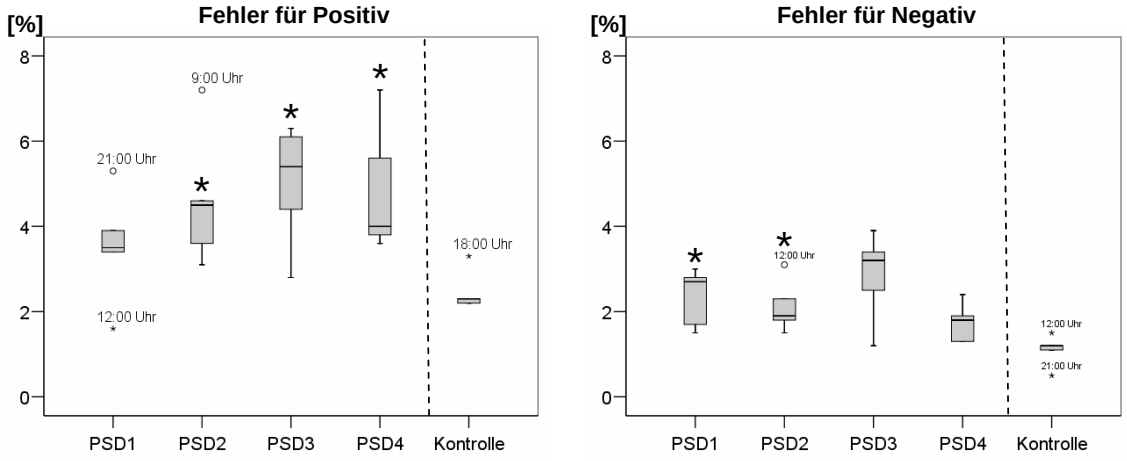


Abb. 4.24.: Boxplot Diagramm der MST Fehler für Positiv und für Negativ. An den Tagen mit verkürzter Schlafdauer ist eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar. Sie ist signifikant in der 2. Nacht und den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD2 bis PSD4) für den Fehler für Positiv erhöht (z=-2.023, p=0.043). Der Fehler für Negativ ist nach der 1. und 2. PSD-Nacht ebenfalls signifikant erhöht, zeigt aber keine Signifikanz für die Fehlerrate nach der 3. und 4. PSD-Nacht.

4.2.6. UTT Unstable Tracking Task

Das Nachführen (Unstable Tracking Test, UTT) testet die Leistungsfähigkeit bei einer kontinuierlichen motorischen Aufgabenstellung und stellt Anforderungen an die Feinmotorik des Probanden bei der Hand-Auge-Koordination. In Abb. 4.25 sind die Gruppenergebnisse des UTT in der Trainings- und Studienphase wiedergegeben. Bei den meisten Probanden reichten 35 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus aus. Die Probanden A, C, G zeigten noch Lerneffekte, die eine Approximation der Kontrollwerte an den stressorfreien Tagen durch individuelle Geraden erforderten. Insgesamt zählte der UTT zu den Aufgaben mit relativ langer Einarbeitungszeit.

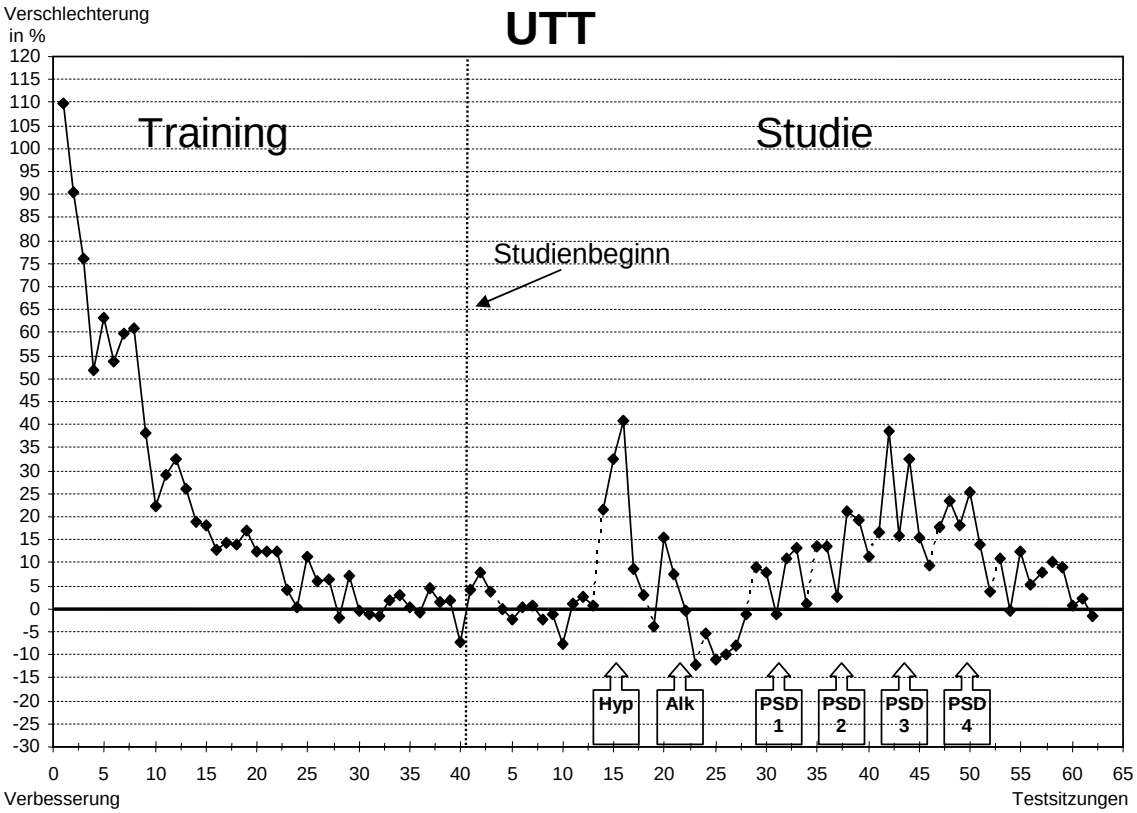


Abb. 4.25.: Der gesamte Verlauf (Training und Studie) der Ergebnisse einzelner Sitzung des Unstable Tracking Test, UTT. Das Diagramm zeigt die prozentuale Abweichung der mittleren absoluten Trackingabweichungen aus dem UTT Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden - gemittelt über die Probanden A-H.

Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und anschließend gemittelt über A-H. In der Tabelle 4.12 geben die korrigierten Zahlenwerte die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 41% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 29% Zunahme der mittleren absoluten Trackingabweichungen bei 0,7‰ BAK gemessen.

Uhrzeit	Kontrolle	Hypoxie	Alkohol
09:00	-0,53	21,5 (21% O_2)	-3,99 (0‰ BAK)
12:00	-4,97	29,2 (10% O_2)	28,79 (0,7‰ BAK)
15:00	0,76	41,0 (11,5% O_2)	7,34 (0,3‰ BAK)
18:00	1,53	11,7 (13% O_2)	-13,65 (0,1‰ BAK)
21:00	-0,84	2,9 (21% O_2)	-12,03 (0‰ BAK)

Tabelle 4.12.: Korrigierte Mittelwerte UTT gemittelt über A-H nach Cross-Over-Design Hypoxie und Alkohol.

Anhand der Abb. 4.26 ist eine Verschlechterung der Leistungsfähigkeit an den Tagen unter Einfluss der Stressoren erkennbar.

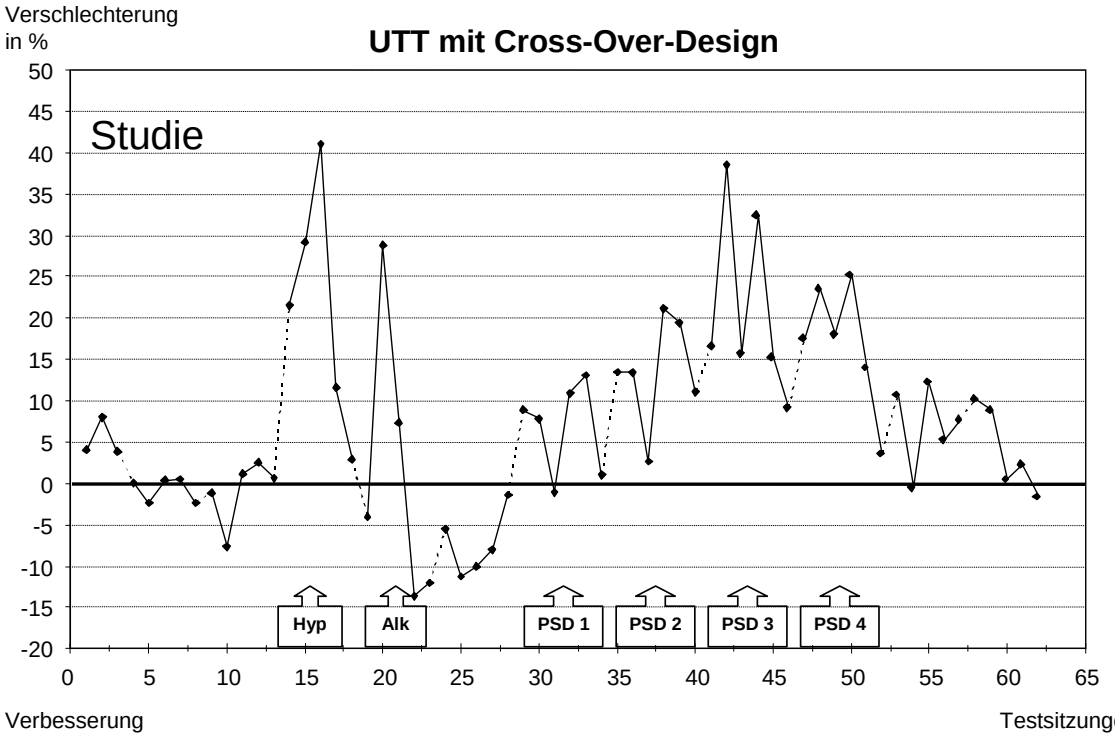


Abb. 4.26.: Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert. Relative Veränderungen des UTT im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H.

Auch der tageszeitliche Ablauf des UTT (siehe Tabelle 4.13) zeigt ein signifikantes Nachlassen (z=-2.023; p=0,043) der Leistungsfähigkeit an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer (PSD 1 bis 4).

Uhrzeit	Kontrolle	PSD 1	PSD 2	PSD 3	PSD 4
06:00		8,86	13,51	16,66	17,58
09:00	-0,53	7,79	13,46	38,57	23,56
12:00	-4,97	-1,08	2,66	15,77	18,05
15:00	0,76	10,89	21,14	32,51	25,26
18:00	1,53	13,09	19,43	15,27	14,06
21:00	-0,84	1,01	11,12	9,21	3,62

Tabelle 4.13.: Tageszeitliche prozentuale Abweichungen des UTT gemittelt über A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Die höchsten Leistungseinbußen mit über 38% wurden nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) um 09:00 Uhr gemessen.

In der Abbildung 4.27 sind die Leistungsergebnisse als Mittelwert aus Kontrolle und allen Schlafentzugstagen gegenübergestellt worden. Der Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben zeigt eine signifikante Verschlechterung der Leistungsfähigkeit (z=-2.023; p=0,043) schon nach der 1. Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD1 bis PSD4).

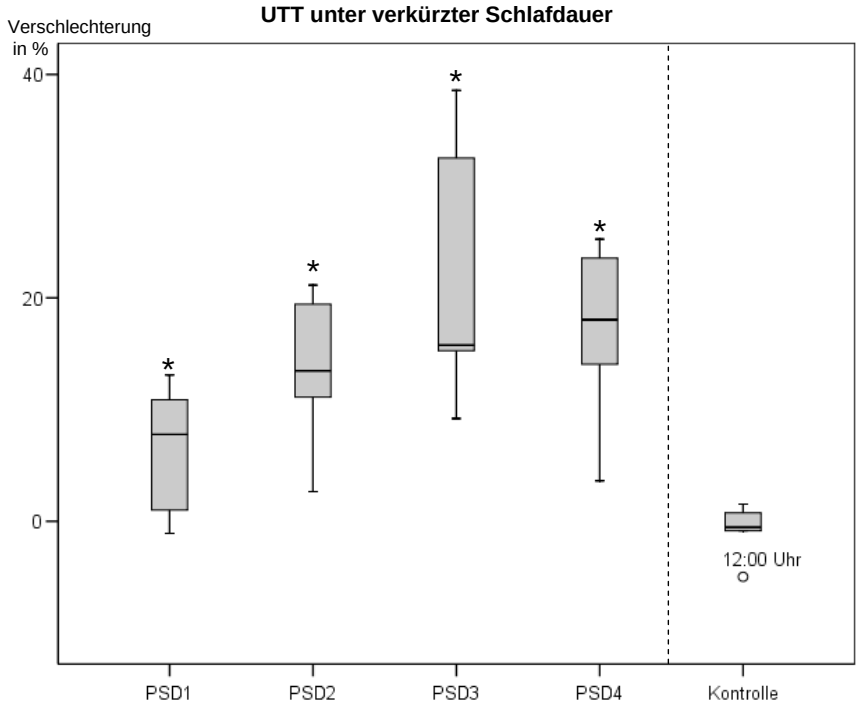


Abb. 4.27.: Boxplot Diagramm der relativen Veränderungen des UTT im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Schon nach der ersten Nacht mit verkürzter Schlafdauer kommt es zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung (*) mit Zunahme der Reaktionszeiten im Vergleich zu den Kontrollwerten (z=-2.023, p=0.043). Die an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer durchgeführte 6:00 Uhr Messung wurde nicht in die Mittelwertberechnung aufgenommen, um einen Vergleich mit den Kontrolltagen zu ermöglichen.

Als nächstes wurden die tageszeitlichen Schwankungen des UTT an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer ermittelt. Beim UTT zeigte sich eine Tagesrhythmik, die insbesondere an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer deutlich wird (siehe Abbildung 4.28).

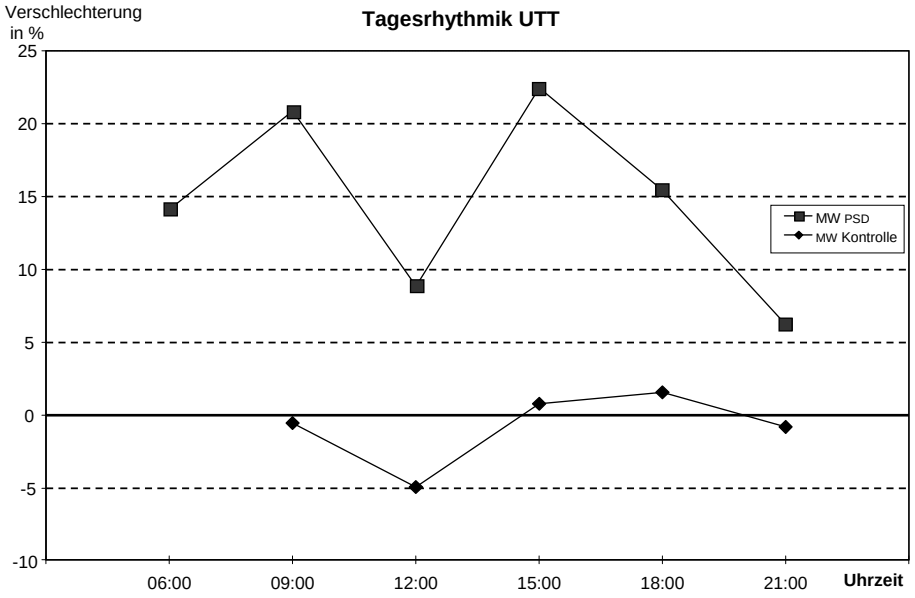


Abb. 4.28.: Tagesrhythmik UTT - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten.

In der Abb. 4.29 wurden die relativen Mittelwerte des Nachführen UTT getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Die

Probanden zeigten schon nach der ersten PSD-Nacht eine Leistungsverschlechterung von 7%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf 21% anstieg, um in der vierten Nacht wieder auf 17% leicht abzufallen. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von 21% zeigt sich auch unter einer (interpolierten) Sauerstoffkonzentration von etwa 12% oder einer Alkoholkonzentration von etwa 0,5‰.

Betrachtet man die Anzahl der Kontrollverluste mit Auslenkung des Balkens über die Begrenzungslinien, so trat dieses Ereignis für die einzelnen Probanden unterschiedlich gehäuft auf. Proband C hatte während des ganzen Versuches keinen einzigen Kontrollverlust, während Proband G mit 22 Kontrollverlusten den höchsten Wert erreichte (Tabellen 4.14).

A	B	C	D	E	F	G	H
1	3	0	14	3	14	22	8

Tabelle 4.14.: Anzahl der Kontrollverluste für die Probanden A-H.

Die Summe der Kontrollverluste über alle Probanden A-H ist in der Abbildung 4.30 aufgeführt. Wie man dieser Abbildung entnehmen kann, traten die Kontrollverluste an den Tagen unter Hypoxie und Alkohol sowie ab der 2.Nacht mit verkürzter Schlafdauer gehäuft auf.

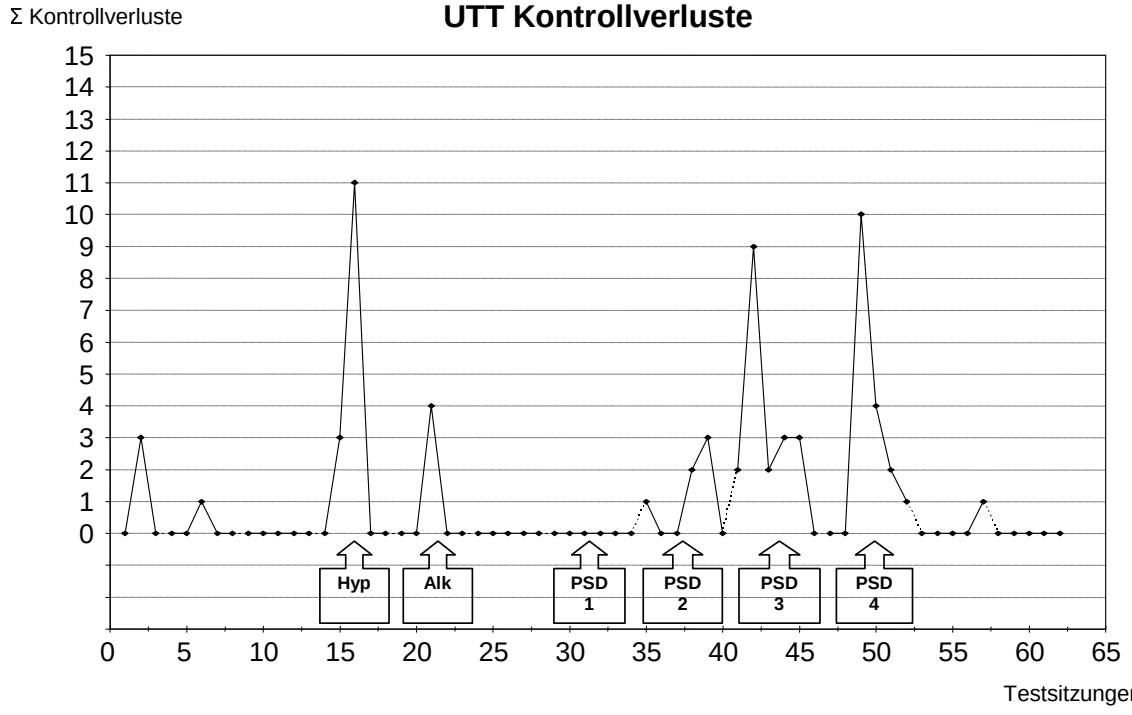


Abb. 4.30.: Kontrollverluste während des UTT. In dieser Abbildung ist die Summe der Kontrollverluste für alle Probanden A-H aufgezeichnet. Am Tag mit Hypoxiebelastung wurden 14 Kontrollverluste registriert und unter Alkohol 4. Ab der 2.Nacht häufen sich die Kontrollverluste mit 6 Ereignissen (PSD2), 19 Ereignissen (PSD3) und 17 Ereignissen (PSD4).

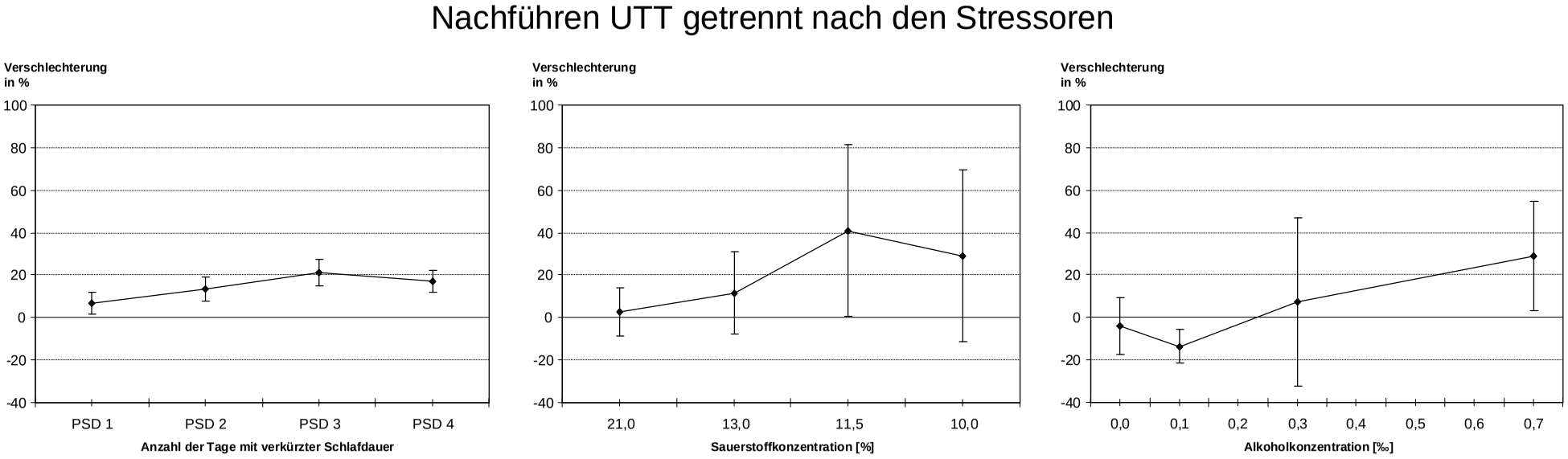


Abb. 4.29.: Vergleich der UTT Testergebnisse. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die relativen Mittelwerte des UTT (Nachführen) getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Durch die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-40 bis 100] ist ein direkter Vergleich der UTT Testergebnisse möglich. Die Versuchspersonen zeigen schon nach der ersten PSD-Nacht eine Leistungsverschlechterung von 7%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf 21% ansteigt, um in der vierten Nacht wieder auf 17% leicht abzufallen. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von 21% zeigt sich auch unter einer interpolierten Sauerstoffkonzentration von etwa 12% oder einer Alkoholkonzentration von etwa 0,5‰.

4.2.7. DUT Dual Task

Beim Dual Task (DUT) wurde der Proband mit der Aufgabe konfrontiert, zwei Leistungstests, nämlich den MST und den UTT, gleichzeitig durchzuführen. Die Probanden prägten sich innerhalb einer vorgegebenen Zeit zunächst ein Positiv-Set aus 4 Buchstaben ein. Danach startete der Test mit dem Nachführen (UTT) und der Proband gab, während er den Joystick mit der einen Hand bediente, mit der anderen Hand durch Tastendruck an, ob der Testbuchstabe auf dem Bildschirm zum Positiv-Set gehört oder nicht. Ein Durchgang dauerte mit drei Minuten genauso lange wie auch bei den Einzeltests. In dieser Zeit musste der Balken in der Mitte gehalten werden. Die Aufgabe testeten die Reservekapazität bei Mehrfachbelastung (engl. „Multitasking“). Nachfolgend werden die Ergebnisse der Leistungstest getrennt nach der Gedächtnisaufgabe MST und der Aufgabe des Nachführens UTT getrachtet.

MST unter Mehrfachbelastung

Beim Vergleich der Mittelwerte der Reaktionszeiten an den Kontrolltagen Tag2 und Tag3 unter Einzel- und Mehrfachbelastung (MST und DUT-MST) ohne Einfluss von Stressoren findet sich eine signifikante Zunahme der Reaktionszeiten (z=-2.521, p=0.012) bei allen Probanden A-H von etwa 40ms (Tabelle 4.15).

	Vergleich MST und DUT-MST			
	Reaktionszeiten		Streuung	
Proband	**MST**	**DUT-MST**	**MST**	**DUT-MST**
A	453	516	103	88
B	550	561	172	163
C	569	627	152	166
D	516	560	137	142
E	506	553	94	106
F	552	583	132	146
G	501	547	97	115
H	537	574	152	144
Mittelwert	**523**	**565**	**130**	**134**

Tabelle 4.15.: Vergleich MST Normreaktionszeiten unter Einzel- und Mehrfachbelastung für die Probanden A-H an den Kontrolltagen ohne Einfluss von Stressoren. Unter Einzelbelastung (MST) benötigen die Probanden im Mittel eine Zeit von 523 ± 130 ms. Unter Merfachbelastung (DUT-MST) erhöht sich die Reaktionszeit um etwa 40ms auf einen Durchschnittswert von 565 ± 134 ms.

Die einzelnen Sitzungen wurden in Bezug zu den Kontrollwerten gesetzt. Abbildung 4.31 stellt den Verlauf der Mittelwerte der Reaktionszeiten innerhalb der Gruppe der Probanden dar. Insgesamt waren etwa 30 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus erforderlich. Im Vergleich zur Trainingsphase unter Einfachbelastung mit MST (siehe Seite 87) waren 10 weitere Trainingssitzungen notwendig.

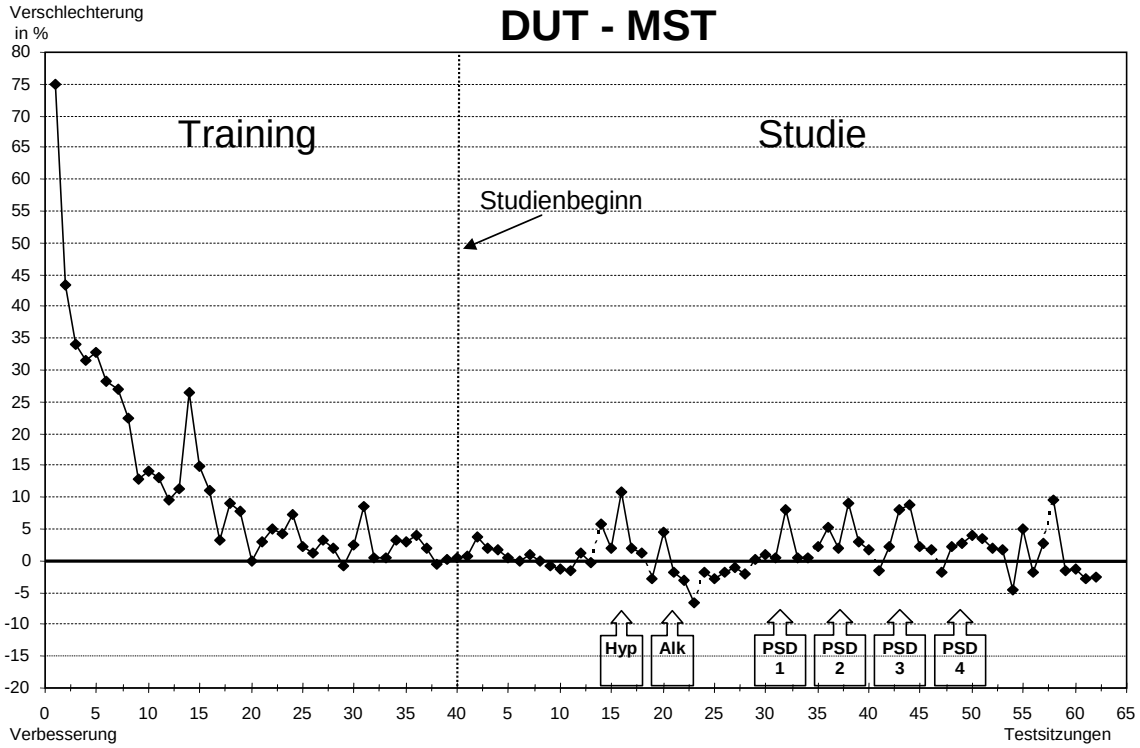


Abb. 4.31.: Gruppenergebnis des DUT-MST in der Trainings- und Studienphase. Abgebildet sind die prozentualen Abweichungen der Ergebnisse aus dem DUT-MST Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden - gemittelt über die Probanden A-H. Es sind ungefähr 30 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus erforderlich.

Die Daten der Sitzungen an den Tagen unter Hypoxie- und Alkoholeinfluss wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert. In der Tabelle sind die korrigierten Werte aufgeführt. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 10,72% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Unter Einfluss des Stressors Alkohol wurden nur unter 0,7‰ BAK Leistungseinbußen bis zu 5,47% festgestellt. Das Ergebnis der Auswertung nach dem Cross-Over-Design gibt die Abbildung 4.32 wieder.

Uhrzeit	Kontrolle	Hypoxie	Alkohol
09:00	0,42	5,65 (21% O_2)	-2,77 (0‰ BAK)
12:00	-0,44	0,27 (10% O_2)	5,47 (0,7‰ BAK)
15:00	-0,87	10,72 (11,5% O_2)	-1,90 (0,3‰ BAK)
18:00	1,12	3,69 (13% O_2)	-4,15 (0,1‰ BAK)
21:00	-0,23	1,30 (21% O_2)	-6,62 (0‰ BAK)

Tabelle 4.16.: Korrigierte Mittelwerte MST unter Mehrfachbelastung gemittelt über die Probanden A-H nach Cross-Over-Design Hypoxie und Alkohol. Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und anschließend gemittelt über die Probanden A-H. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an.

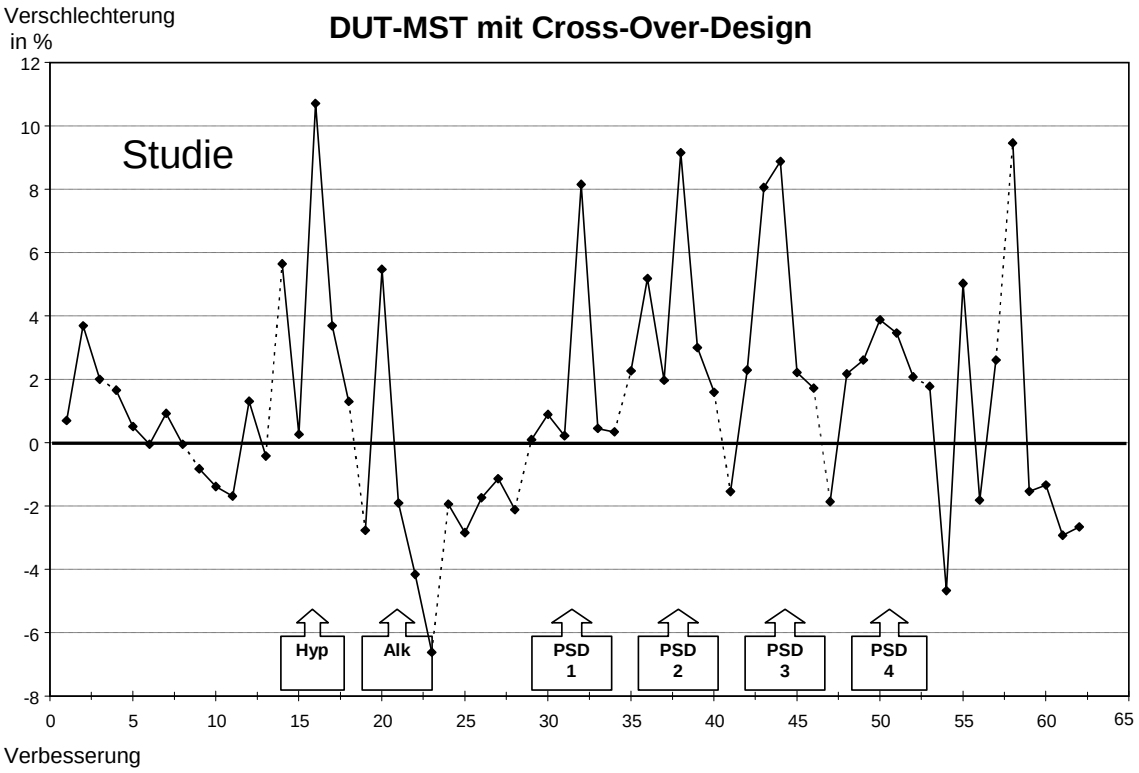


Abb. 4.32.: Abbildung der korrigierten Mittelwerte MST unter Mehrfachbelastung gemittelt über die Probanden A-H nach Cross-Over-Design Hypoxie und Alkohol.

Die Probanden zeigen entsprechend der Abbildung nach der 2.Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD2) eine signifikante Leistungsverschlechterung (*) mit Zunahme der Reaktionszeiten im Vergleich zu den Kontrollwerten (z=-2.023, p=0.043).

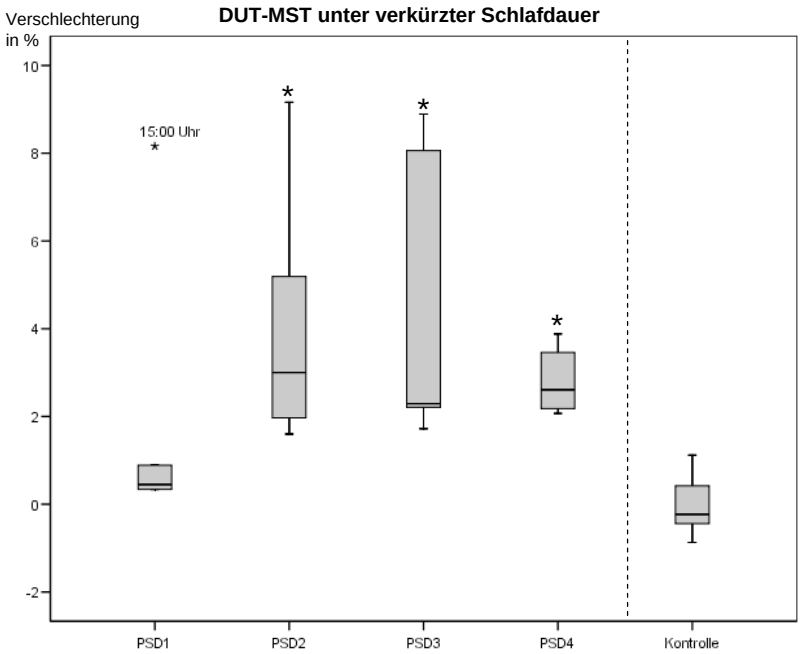


Abb. 4.33.: Boxplot Diagramm der MST Leistungstest unter Mehrfachbelastung. Boxplot Diagramm der relativen Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Ab der 2.Nacht mit verkürzter Schlafdauer kommt es zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung (*) mit Zunahme der Reaktionszeiten im Vergleich zu den Kontrollwerten (z=-2.023, p=0.043) für PSD2 bis PSD4.

Vergleicht man die Tagesrhythmik des MST unter Mehrfachbelastung mit der Tagesrhythmik an den Kontrolltagen, sind ebenfalls die aus der Einzelbelastung des MST bekannten Leistungsminderungen mit verlängerten Reaktionszeiten in der Sitzung um 15:00 Uhr nachweisbar (siehe Abbildung 4.34).

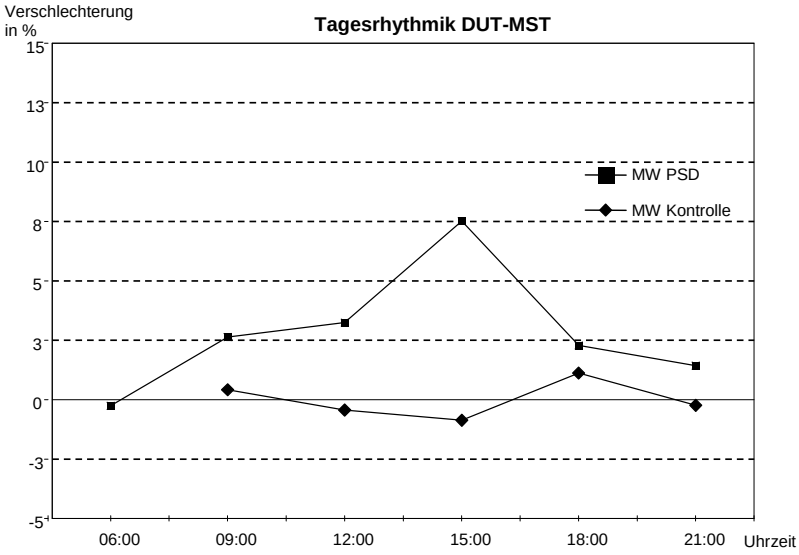


Abb. 4.34.: Tagesrhythmik MST unter Mehrfachbelastung - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten.

Neben den Reaktionszeiten wurden beim Test zur Gedächtnissuche die beiden Fehlerarten bestimmt (Abb. 4.36). Dabei wird zwischen einer positiven Fehlerart (Testitem gehörte dem Positiv-Set an und wurde nicht erkannt) und einer negativen Fehlerart (Testitem gehörte nicht dem Positiv-Set an und wurde fälschlicherweise erkannt) unterschieden. Hypoxie, Alkohol und verkürzte Schlafdauer ab der 2.Nacht führten zu einer Zunahme der Fehlerrate in beiden Fehlerarten. An den Kontrolltagen betrug die Fehlerquote bei positiver Fehlerart $3,2 \pm 1,05\%$ und $2,1 \pm 0,87\%$ bei negativen r Fehlerart der Gedächtnissuche. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 8,7% unter 10% O_2 bzw. auf 9,4% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,75‰ an. Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar.

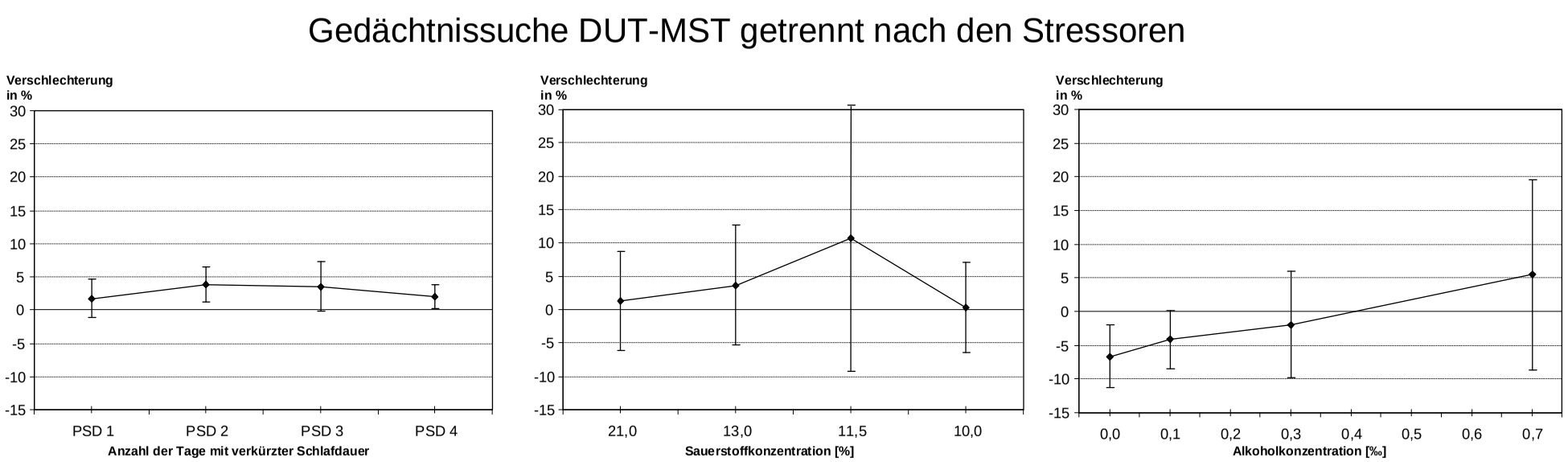


Abb. 4.35.: Vergleich der MST Testergebnisse unter Mehrfachbelastung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die relativen Mittelwerte der Gedächtnissuche MST getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Durch die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-15 bis 30] ist ein direkter Vergleich der MST Testergebnisse unter Mehrfachbelastung möglich. Die Versuchspersonen zeigen nach der ersten Nacht eine geringe Leistungsverschlechterung von 2%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf gerade 4% ansteigt. Eine vergleichsweise deutlichere Leistungsverschlechterung von 10% zeigt sich unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5%. Auch Alkoholkonzentration bis 0,5‰ führen zu keinen verlängerten Reaktionszeiten. Erst eine BAK von 0,7‰ führt zu einer geringen Verlängerung der Reaktionszeiten von 5%.

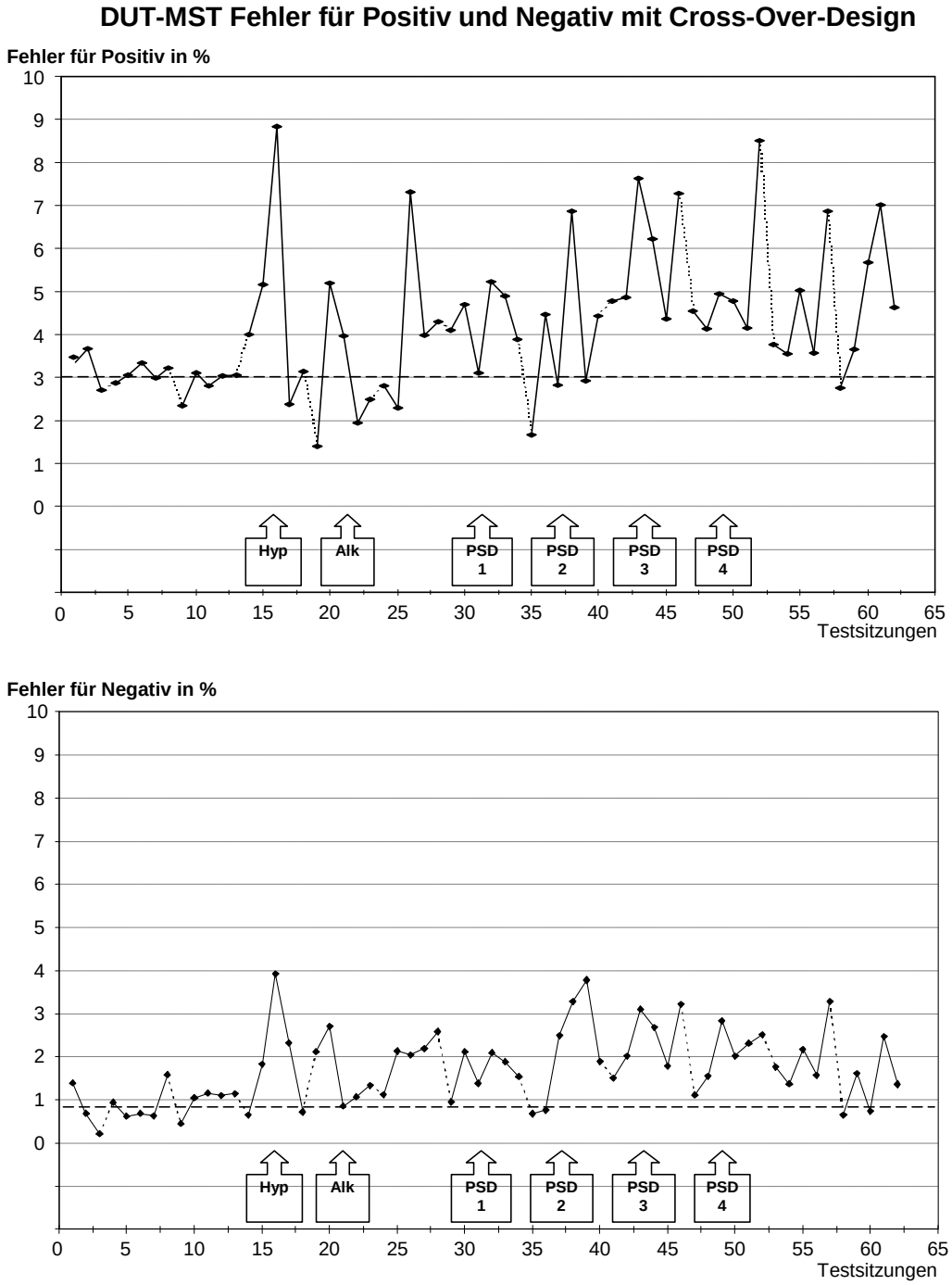


Abb. 4.36.: Diagramm der MST Fehler für jede Sitzung unter Mehrfachbelastung. Die obere Graphik zeigt die Fehler bei positiver Fehlerart, die untere bei negativer Fehlerart des MST unter Mehrfachbelastung.

Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar (Abb. 4.37). Sie ist signifikant ab der 3. Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD3 und PSD4) für den Fehler für Positiv erhöht ($z=-2.023$, $p=0.043$). Der Fehler für Negativ ist schon ab der 1. PSD-Nacht signifikant erhöht ($z=-2.023$, $p=0.043$).

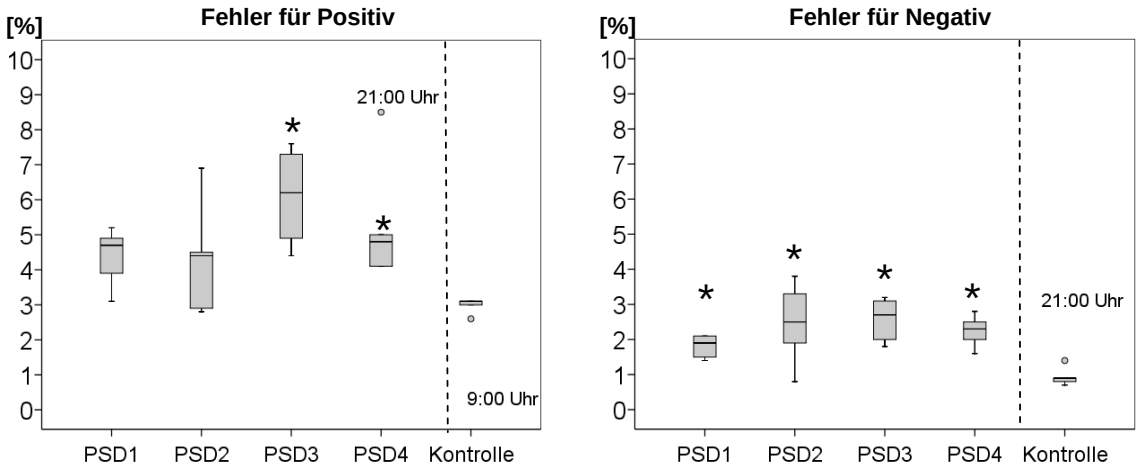


Abb. 4.37.: Boxplot Diagramm der MST Fehler für Positiv und für Negativ unter Mehrfachbelastung. An den Tagen mit verkürzter Schlafdauer ist eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar. Sie ist signifikant ab der 3. und 4.Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD3 bis PSD4) für den Fehler für Positiv erhöht. Der Fehler für Negativ ist schon nach der 1. PSD-Nacht signifikant erhöht.

UTT unter Mehrfachbelastung

Beim Vergleich der Mittelwerte der mittleren absoluten Trackingabweichungen (RMS) an den Kontrolltagen Tag2 und Tag3 unter Einzel- und Mehrfachbelastung (UTT und DUT-UTT) findet sich eine signifikante Zunahme der mittleren absoluten Trackingabweichungen (z=-1.960, p=0.05) bei allen Probanden A-H von etwa 0,64 Einheiten (Tabelle 4.17).

Vergleich UTT und DUT-UTT				
	RMS		Streuung	
Proband	**UTT**	**DUT-UTT**	**UTT**	**DUT-UTT**
A	7,12	7,35	3,38	3,53
B	6,75	6,56	3,84	3,34
C	6,35	7,18	2,98	3,24
D	6,40	8,54	3,33	5,36
E	8,86	8,93	4,88	4,74
F	7,27	9,20	4,10	4,90
G	6,98	7,09	3,27	3,62
H	6,01	6,06	3,27	3,47
Mittelwert	**6,97**	**7,61**	**3,63**	**4,02**

Tabelle 4.17.: Vergleich UTT RMS unter Einzel- und Mehrfachbelastung für die Probanden A-H an den Kontrolltagen ohne Einfluss von Stressoren. Unter Einzelbelastung (UTT) benötigen die Probanden im Mittel eine RMS von $6,97 \pm 3,63$ ms. Unter Merfachbelastung (DUT-UTT) erhöht sich die mittleren absoluten Trackingabweichungen um etwa 0,64 Einheiten auf einen Durchschnittswert von $7,61 \pm 4,02$ Einheiten.

Während der Versuchsphase zeigten die Proband A, C, G beim UTT unter Mehrfachbelastung noch Lerneffekte, so dass bei diesen Probanden für die Ermittlung der Kontrollwerte eine Anpassung durch individuelle Geraden durchgeführt wurde. Unter Mehr-

fachbelastung benötigen die Probanden ungefähr 30 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus (Abb. 4.38).

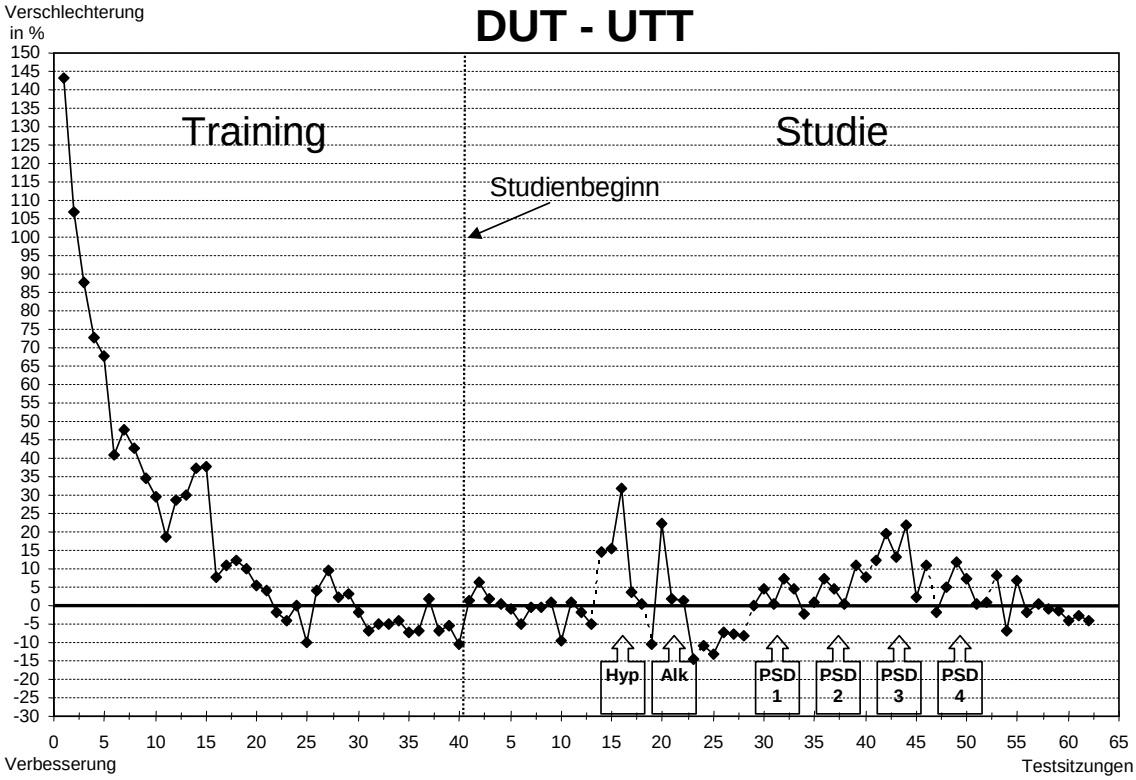


Abb. 4.38.: DUT-UTTGesamt: Prozentuale Abweichung der Ergebnisse aus dem DUT-UTT Leistungstest in Bezug auf den Kontrollwert der einzelnen Probanden - gemittelt über die Probanden A-H. Es sind ungefähr 30 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus erforderlich.

Nachdem die Daten entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert wurden, konnten die prozentualen Abweichungen [%] vom Mittelwert der errechneten Kontrollwerte ermittelt werden. In der Tabelle 4.18 sind die Werte unter Einfluss der Stressoren Hypoxie und Alkohol aufgelistet.

Uhrzeit	Kontrolle	Hypoxie	Alkohol
09:00	14,45	21,5 (21% O_2)	-10,51 (0‰ BAK)
12:00	13,32	29,2 (10% O_2)	31,66 (0,7‰ BAK)
15:00	-0,38	31,79 (11,5% O_2)	2,03 (0,3‰ BAK)
18:00	-0,47	5,47 (13% O_2)	-8,09 (0,1‰ BAK)
21:00	-1,91	0,24 (21% O_2)	-14,40 (0‰ BAK)

Tabelle 4.18.: Korrigierte Mittelwerte UTT unter Mehrfachbelastung gemittelt über A-H nach Cross-Over-Design Hypoxie und Alkohol. Die Zahlenwerte geben die prozentuale Abweichung [%] vom Mittelwert der Kontrolltage an. Unter Hypoxie verschlechtern sich die Probanden um durchschnittlich 32%. Eine ähnlich hohe Verschlechterung tritt unter 0,7‰ Alkohol auf.

Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert und anschließend gemittelt über A-H (Abb. 4.39). Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 32% und

damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 32% bei 0,7‰ BAK gemessen.

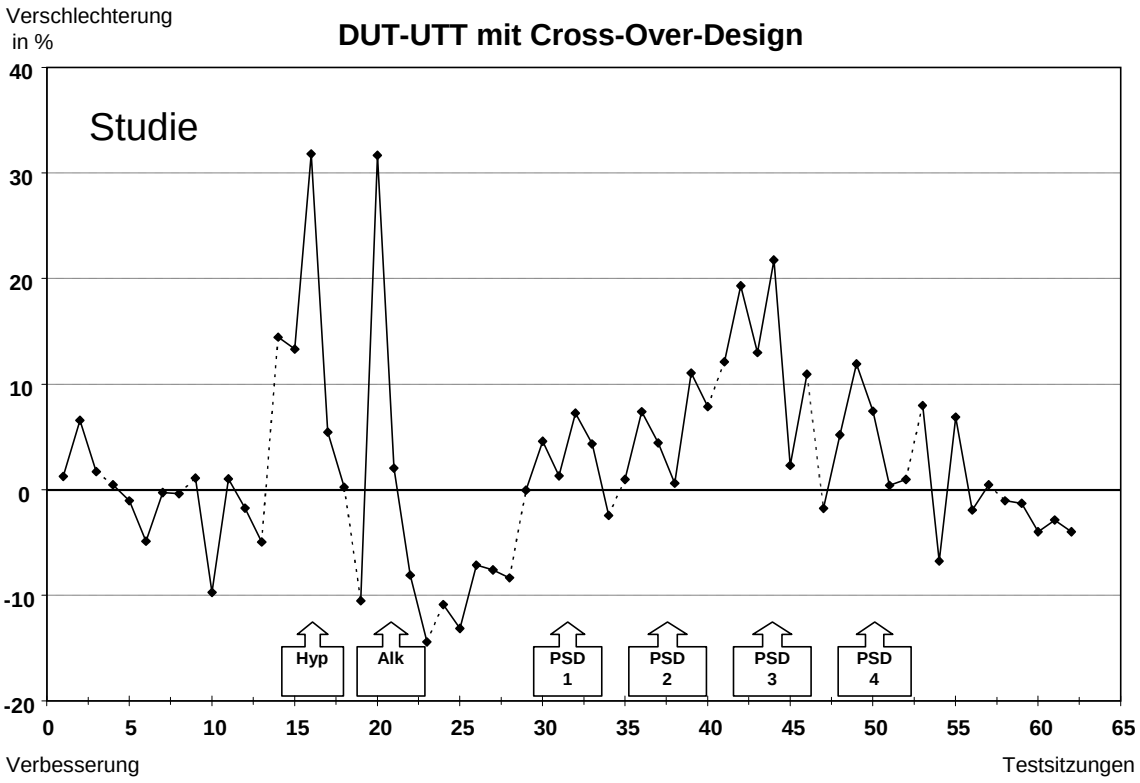


Abb. 4.39.: Studienergebnis der UTT Leistungstest unter Mehrfachbelastung (DUT). Die Daten der Testsitzungen an den Hypoxie- und Alkoholtagen wurden entsprechend dem Cross-Over-Design korrigiert. Relative Veränderungen des UTT im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H.

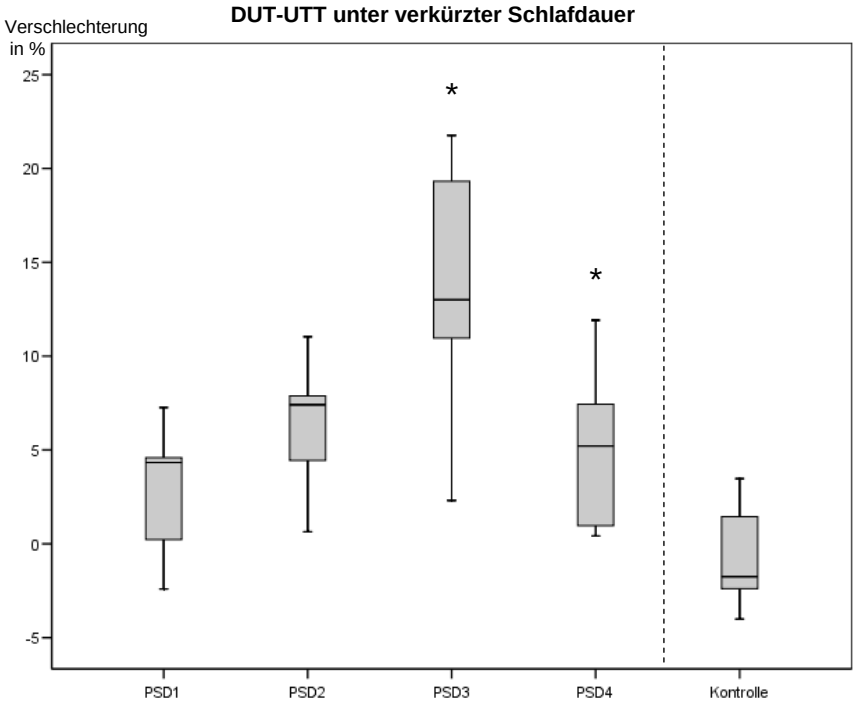


Abb. 4.40.: Boxplot Diagramm der relativen Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Am dritten und vierten Tag mit verkürzter Schlafdauer kommt es zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung (*) mit Zunahme der Reaktionszeiten im Vergleich zu den Kontrollwerten (z=-2.023, p=0.043). Am ersten und zweiten Tag mit verkürzter Schlafdauer sind keine signifikanten Leistungsverschlechterungen nachweisbar (z=-1.483, p=0.138). Die an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer durchgeführte 6:00 Uhr Messung wurde nicht in die Mittelwertberechnung aufgenommen, um einen Vergleich mit den Kontrolltagen zu ermöglichen.

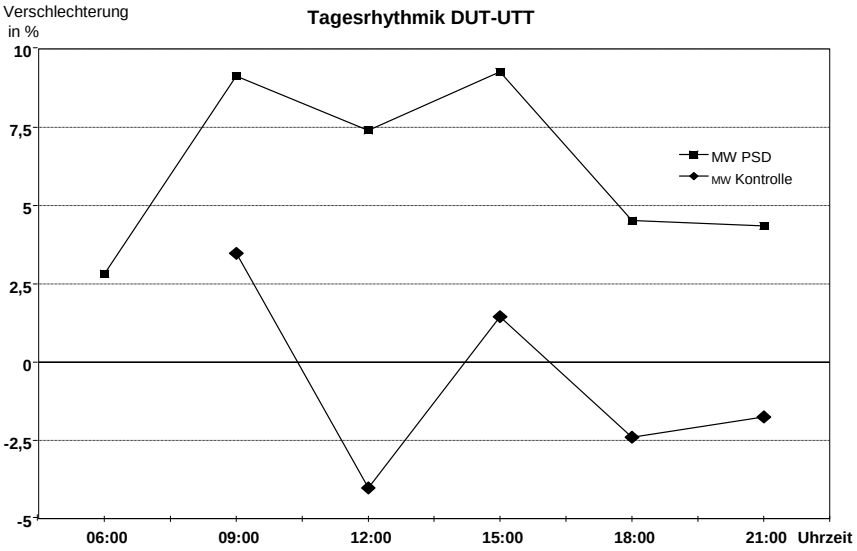


Abb. 4.41.: Tagesrhythmik UTT unter Mehrfachbelastung - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten.

In der Abb. 4.42 wurden die relativen Mittelwerte des Nachführen UTT unter Mehrfachbelastung getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Die Probanden zeigen schon nach der ersten PSD-Nacht eine diskrete Leistungsverschlechterung von 2%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf 13% ansteigt, um in der vierten Nacht wieder auf 4% abzufallen.

Eine deutlichere Leistungsverschlechterung von 32% zeigt sich unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% oder einer Alkoholkonzentration von 0,7‰.

Betrachtet man die Anzahl der Kontrollverluste mit Auslenkung des Balkens über die Begrenzungslinien, so trat dieses Ereignis für die einzelnen Probanden unterschiedlich gehäuft auf. Die Probanden A,B, und C hatten während des ganzen Versuches keinen einzigen Kontrollverlust, wogegen diesmal Proband F mit 15 Kontrollverlusten die meisten Kontrollverluste zeigte (Tabellen 4.19). Die Kontrollverluste traten gehäuft unter dem Einfluss der Stressoren auf (Abb. 4.43).

A	B	C	D	E	F	G	H
0	0	0	12	3	15	5	8

Tabelle 4.19.: Anzahl der Kontrollverluste UTT unter Mehrfachbelastung für die Probanden A-H.

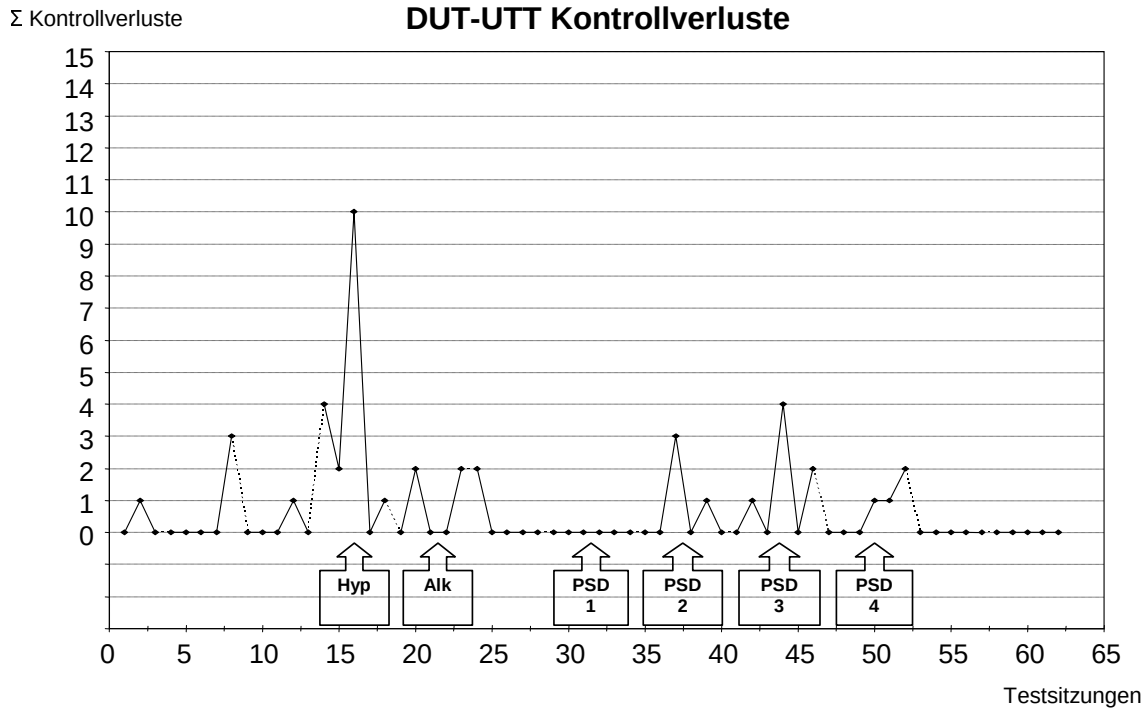


Abb. 4.43.: Kontrollverlust UTT unter Mehrfachbelastung. In dieser Abbildung ist die Summe der Kontrolverluste für alle Probanden A-H aufgezeichnet. Am Tag mit Hypoxiebelastung wurden 17 Kontrollverluste registriert und unter Alkohol 4. Ab der 2.Nacht häufen sich die Kontrollverluste mit 4 Ereignissen (PSD2), 7 Ereignissen (PSD3) und 4 Ereignissen (PSD4).

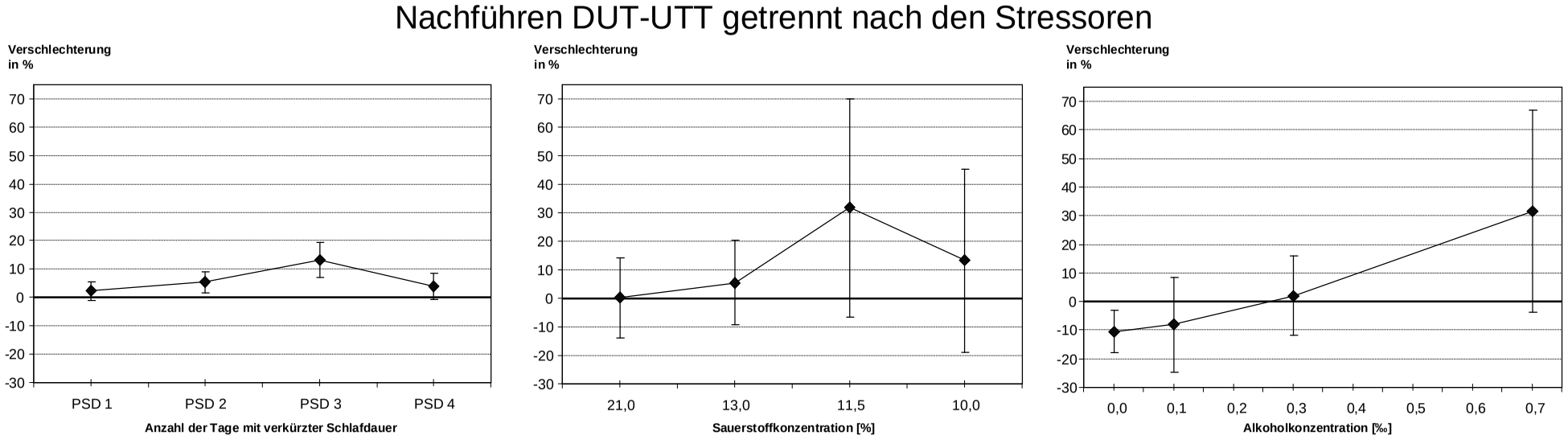


Abb. 4.42.: Vergleich der UTT Testergebnisse unter Mehrfachbelastung. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die relativen Mittelwerte der UTT getrennt nach den Stressoren verkürzte Schlafdauer (PSD), Hypoxie und Alkohol gegenübergestellt. Durch die gleiche Skalierung der Ordinatenachse [-30 bis 70] ist ein direkter Vergleich der Testergebnisse möglich. Die Versuchspersonen zeigen nach der ersten PSD-Nacht eine diskrete Leistungsverschlechterung von 2%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf 13% ansteigt, um in der vierten Nacht wieder auf 4% abzufallen. Eine deutlichere Leistungsverschlechterung von 32% zeigt sich unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% oder einer Alkoholkonzentration von 0,7‰.

4.3. Fragebögen

Die Probanden haben den Fragebogen entsprechend der subjektiv empfundenen Beeinträchtigung nach jeder Sitzung ausgefüllt. Der gemäß der Wichtung ermittelte NASA Taskload Index (NASA-TLX) wurde in die Kategorien „sehr niedrig“, „niedrig“, „mittel“, „hoch“ und „sehr hoch“ eingeteilt. In der PSD Studie gaben die Probanden eine in 24% niedrige bis sehr niedrige, in 58% eine mittlere und in 18% eine hohe bis sehr hohe Belastung an (Tabelle 4.20). Insbesondere an den Tagen mit verkürzter Schlafdauer wurden von den Probanden höhere Arbeitsbelastungen mitgeteilt (57% der Angaben mit hoher, 78% der Angaben mit sehr hoher Belastung), die meisten nach der 3.Nacht in der Deprivationsphase. Die Leistungsfähigkeit an den Kontrolltagen wurde mit einem NASA-TLX von 130 als „mittel“ eingestuft. Ein Vergleich mit den Kontrolltagen zeigt eine signifikante Erhöhung des NASA-TLX mit einem Maximalwert von 175 nach Testung der Leistungsfähigkeit um 18:00 Uhr nach der 3.Nacht mit partieller Schlafdeprivation im Wilcoxon-Test (z=-2.023, p=0.043). An den Tagen unter Hypoxie wird mit einem Maximalwert von 11,5% O_2 ebenfalls eine signifikante Erhöhung (z=-2.521, p=0.012) des NASA-TLX auf 155 gemittelt über alle Probanden angegeben. Die Belastung unter Alkoholeinfluss wurde nicht signifikant höher eingestuft als an den Kontrolltagen. Die Selbsteinstufung der Probanden bei Alkoholkonzentrationen von 0,7‰ und 0,3‰ lag dabei mit 145 und 147 NASA-TLX Punktwerten im mittleren Bereich.

4.3.1. Subjektive Beurteilung der Leistungsfähigkeit

TLX-Werte	Bewertung	Anzahl	Prozent[%]	Davon an PSD-Tagen in Prozent[%]
0- 59	**sehr niedrig**	12	2	0
60-119	**niedrig**	107	22	26
120-179	**mittel**	285	58	38
180-239	**hoch**	97	16	57
240-300	**sehr hoch**	9	2	78

Tabelle 4.20.: Subjektive Einschätzung der Arbeitsbelastung (NASA Taskload).

Der NASA-TLX bietet mit seiner anhand der sechs Merkmale und einer bestimmten Gewichtung zusammengestellten Bewertung ein Instrument zur eigenen Gesamtbeurteilung der Leistungsfähigkeit an. Dennoch ist es auch möglich, die subjektive Leistungseinstufung losgelöst von der Gesamtbeurteilung zu betrachten. In der Abb. 4.44 wurde daher lediglich die Bewertung der Frage: „Wie erfolgreich haben Sie die geforderte Aufgabe Ihrer Ansicht nach durchgeführt?“ als Zahlenwert für die einzelnen Sitzungen wiedergegeben. Die Probanden konnten ihre Leistung zwischen „perfekter Erfolg“ (Index 0) bis „Misserfolg“ (Index 20) einstufen. An den Kontrolltagen lag die Selbsteinschätzung mit einem Gruppen-Index von 9,3 im mittleren Bereich.

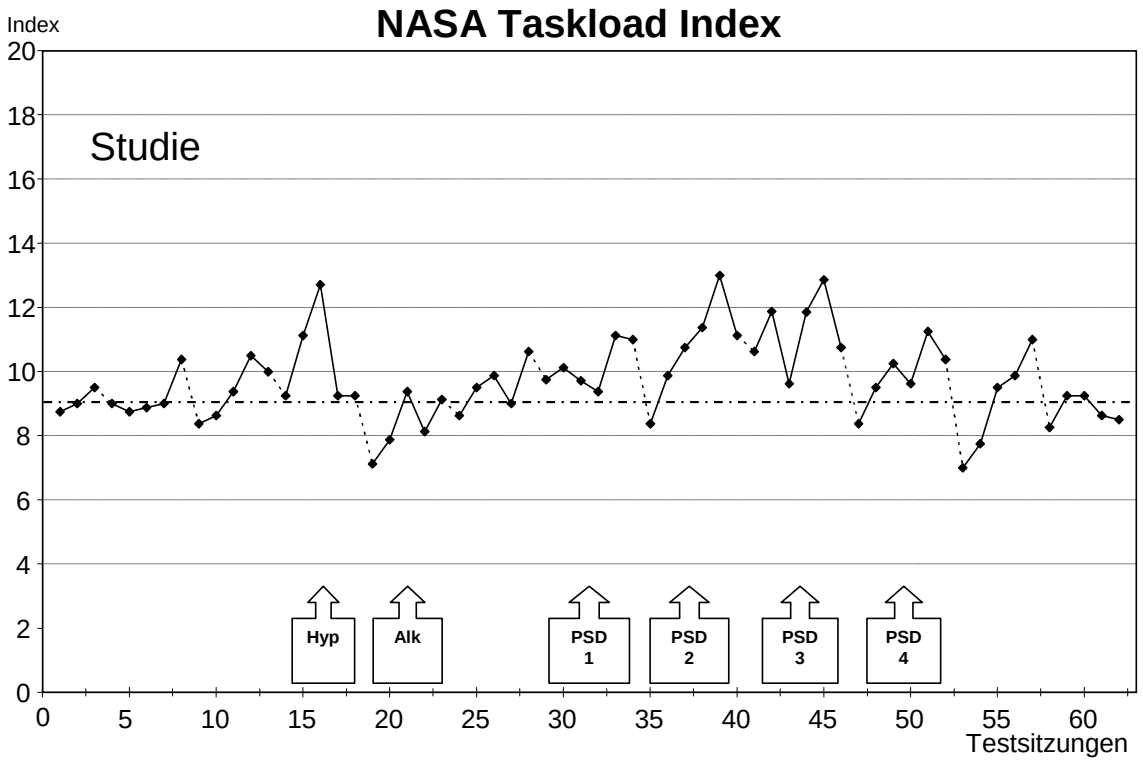


Abb. 4.44.: Subjektive Leistungseinstufung - gemittelt über die Probanden A-H. Die gestrichelte Linie gibt die subjektive Leistungseinstufung von 9,3 Punkten an den Kontrolltagen wieder. Die subjektive Leistung wird an allen Tagen unter Einfluss der Stressoren als schlechter (höherer Index) eingestuft. Lediglich unter Alkohol wird die Leistung subjektiv als besser empfunden.

Aus der Abb. 4.45 ist zu ersehen, dass gerade an den Tagen mit Schlafdeprivation die eigene Leistung schlechter eingestuft wurde.

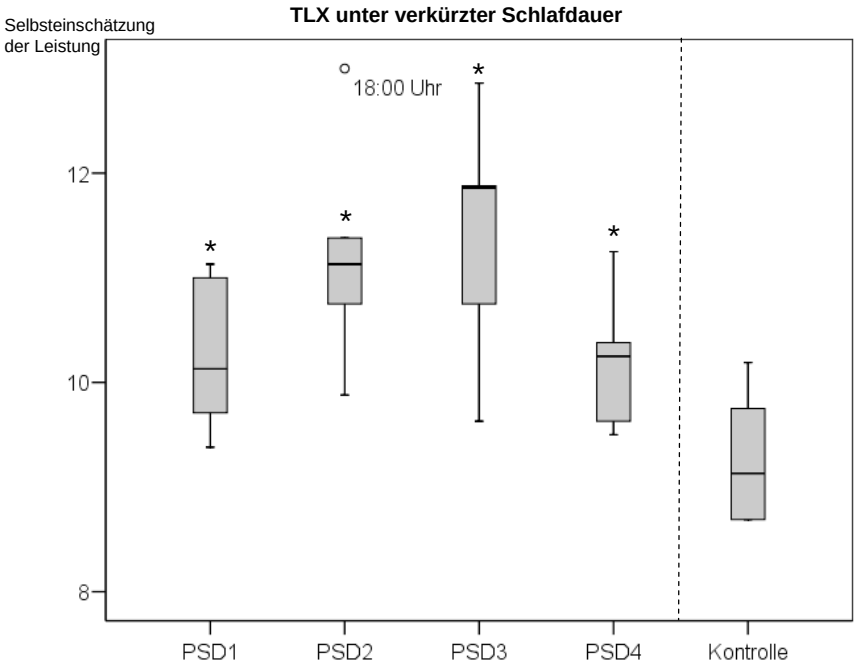


Abb. 4.45.: Boxplot Diagramm der subjektiven Leistungseinstufung im Vergleich zur Kontrolle - gemittelt über A-H. Schon nach der ersten Nacht mit verkürzter Schlafdauer geben die Probanden eine im Vergleich zu den Kontrolltagen signifikante Leistungsverschlechterung (*) (z=-2.023, p=0.043) an.

Ordnet man die subjektive Leistungseinstufung an den Tagen mit Schlafdeprivation nach der Tageszeit, so zeigt sich auch hier eine Rhythmik mit deutlich schlechterer Einstufung der Leistung um 18:00 Uhr (Abb. 4.46).

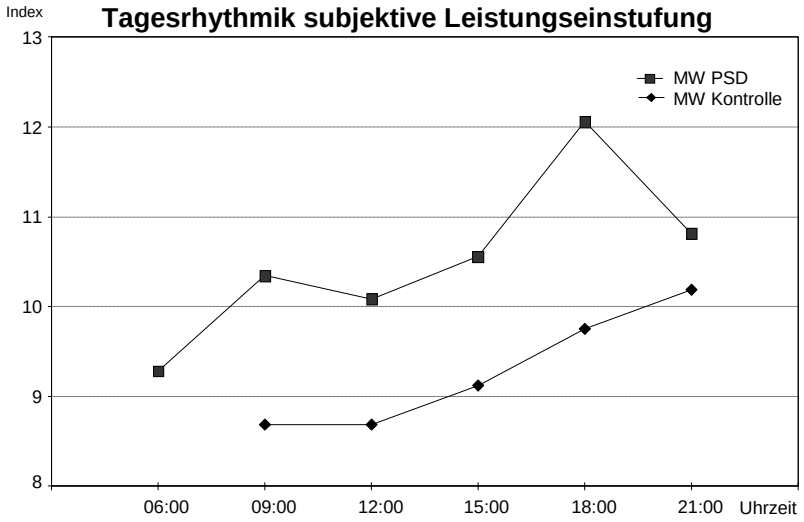


Abb. 4.46.: Tagesrhythmik subjektive Leistungseinstufung - Gegenüberstellung von Mittelwerten (MW) aus Kontroll- und Schlafentzugstagen zu bestimmten Uhrzeiten. Vor allem die Sitzungen um 18:00 Uhr wurden an den Tagen mit Schlafdeprivation als weniger erfolgreich klassifiziert.

5. Diskussion

In diesem Kapitel werden einzelne Hypothesen anhand der Ergebnisse der Studie diskutiert, Beziehungen zwischen den jeweiligen Ergebnissen hergestellt und Schlussfolgerungen gezogen. Als eine notwendige Bedingung erwies sich eine ausreichend lange Trainingsphase der Probanden, um sicher Leistungsveränderungen unter Einfluss von Stressoren zu erfassen. Bei einzelnen Probanden wurde das stabile Lernplateau nach 40 Trainingssitzungen noch nicht erreicht. Hier zeigt sich das Unvermögen prospektiv die ausreichende Anzahl der Trainingssitzungen für einzelne Versuchsteilnehmer zu bestimmen. Aber auch Faktoren wie Motivation und Lernbereitschaft spielen eine große Rolle. Bei Probanden, die nach der Trainingsphase noch Lerneffekte zeigten, wurden die Lerneffekte im Nachhinein aus den Leistungsdaten durch lineare Approximation mathematisch entfernt. Statt einen konstanten Kontrollwert aus dem Mittelwert der Sitzungen an den stressorfreien Tagen 2 und 3 zu bilden, wurde eine Gerade aus den Werten aller stressorfreien Tage errechnet und als Referenz benutzt. Außerdem ist eine klare Abgrenzung zwischen Motivationsverlust und Stressoreneinfluss schwierig. Bei einigen Testverfahren erhielten die Probanden durch Anzeige der erzielten Resultate, wie beim SRT bzw. durch visuelle und akustische Kontrolle der Leistung wie beim UTT ein Feedback zur eigenen Leistung und somit zusätzliche Motivation. Zunächst erfolgt eine kritische Bewertung der Hypothesen anhand der Ergebnisse der einzelnen Leistungstests aus der AGARD-STRES-Battery.

Hypothese 1: Alkoholeinfluss und Hypoxie beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit
Beim Reaktionszeittest SRT haben die Probanden nach gerade 15 Sitzungen in der Trainingsphase ein stabiles Leistungsplateau erreicht. So konnte in der Studienphase unter Hypoxie bei abnehmender Sauerstoffsättigung in der Atemluft eine zunehmende Verschlechterung der Leistungsfähigkeit nachgewiesen werden, die ab 11,5% O_2 zu einer signifikanten Verlängerung der Reaktionszeiten um $9,3 \pm 8,7\%$ (z=-2.38; p=0,017) gegenüber dem Kontrollwert führte. Bei der kritischen Betrachtung der Werte unter Hypoxie kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Sauerstoffmasken zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung und damit zu einer Verfälschung des Ergebnisses führten. Unter dem Einfluss des Stressors Alkohol wurde unter 0,7‰ BAK eine Verschlechterung des Reaktionszeittests von $16,9 \pm 12\%$ (z=-2.38; p=0,017) nachgewiesen. Die Fehlerrate und die Anzahl an Lapses waren beim SRT jedoch zu gering, um eine deskriptive und statistische Analyse durchzuführen.

Beim Test zur Hand-Auge Koordinationen (Unstable Tracking Test, UTT) fanden sich die deutlichsten Veränderungen unter Alkoholeinfluss und Hypoxie. Bei den meisten Probanden waren während der Trainingsphase ungefähr 35 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus erforderlich. Damit zählt der UTT zu den Aufgaben mit relativ langer Einarbeitungszeit. Dafür reagiert dieser Test nach ausreichender Trainingsphase besonders sensitiv auf den Einfluss der Stressoren. Unter Alkohol (0,7‰ BAK) zeigt sich eine Verschlechterung der Reaktionszeiten von etwa 30%, unter Hypoxie (11,5% O_2) eine deutliche Zunahme der Reaktionszeiten bis 40%. Am Tag mit Hypoxiebelastung wurden 14 Kontrollverluste (der Balken wurde zu den Begrenzungslinien ausgelenkt) registriert und unter Alkohol 4 Kontrollverluste. Dieses Ereignis trat für die einzelnen Probanden unterschiedlich gehäuft auf. Proband C hatte während des ganzen Versuches keinen einzigen Kontrollverlust, während Proband G mit 22 Kontrollverlusten auffiel.

Beim Test zur Satzverifikation (Grammatical Reasoning Task, GRT) handelt es sich um eine komplexe Aufgabenstellung, bei der sich im Nachhinein gezeigt hat, dass 40 Sitzungen zum Erreichen eines Lernplateaus nicht ausreichend sind. So fanden sich während der Studie bei 6 von 8 Probanden (A, B, E, F, G, H) noch Lerneffekte. Um diese fortdauernden Lerneffekte zu eliminieren und zur Bestimmung von Kontrollwerten wurde eine Anpassung durch individuelle Geraden durchgeführt. Für die beiden Probanden (C und D), die ihr Lernplateau während der Trainingsphase erreicht hatten, konnten als Kontrollwerte die Kontrolltage 2 und 3 gewählt werden. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 15,63% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 10,39% bei 0,7‰ BAK gemessen. Hypoxie und Alkohol führten zu einer Zunahme der Fehlerrate in beiden Fehlerarten (Fehler bei gleichem Wahrheitswert und bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation). An den Kontrolltagen beträgt die Fehlerquote bei gleichem Wahrheitswert $3,2 \pm 1,05\%$ und $2,1 \pm 0,87\%$ bei verschiedenen Wahrheitswerten der Satzverifikation. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 8,7% unter 10% O_2 bzw. auf 9,4% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,7‰ an.

Mit Hilfe der Gedächtnissuche (*engl.* Memory Search Task, MST) wurde das Kurzzeitgedächtnis der Probanden getestet. Während der Trainingsphase benötigten die Probanden im Mittel etwa 20 Sitzungen zum Erreichen eines stabilen Plateaus. Da sich keine weiteren Lerneffekte nach der Trainingsphase zeigten, konnten als Kontrollwerte die stressorfreien Kontrolltage 2 und 3 gewählt werden. Am Versuchstag mit Hypoxie wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 13% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2 gemessen. Am Versuchstag mit Alkohol wurden die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 5% bei 0,7‰ BAK gemessen. Neben den Reaktionszeiten wurden die Fehler bestimmt. Dabei wird zwischen einer positiven Fehlerart (Testitem gehörte dem Positiv-Set an und wurde nicht erkannt) und

einer negativen Fehlerart (Testitem gehörte nicht dem Positiv-Set an und wurde fälschlicherweise erkannt) unterschieden. Hypoxie und Alkohol führten zu einer Zunahme der Fehlerrate in beiden Fehlerarten. An den Kontrolltagen beträgt die Fehlerquote bei positiver Fehlerart $2,5 \pm 0,47\%$ und $1,1 \pm 0,36\%$ bei negativer Fehlerart der Gedächtnissuche. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 4,6% (pos. Fehler) und 4,2% (neg. Fehler) unter 10% O_2 bzw. auf 4,8% (pos. Fehler) und 2,6% (neg. Fehler) unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,7‰ an.

Beim Dual Task (DUT) wurden die Probanden mit der Aufgabe konfrontiert, zwei Leistungstests, nämlich den MST und den UTT, gleichzeitig durchzuführen. So sollte die Leistungsfähigkeit unter Mehrfachbelastung getestet werden. Betrachtet man die Gedächtnissuche MST unter Mehrfachbelastung, zeigten sich am Versuchstag mit Hypoxie die höchsten Leistungseinbußen mit bis zu 10,72% und damit längeren Reaktionszeiten bei einem Sauerstoffgehalt der Atemluft von 11,5% O_2. Am Versuchstag mit Alkohol wurden unter 0,7‰ BAK Leistungseinbußen bis zu 5,47% festgestellt. An den Kontrolltagen betrug die positive Fehlerart $3,2 \pm 1,05\%$ und $2,1 \pm 0,87\%$ bei negativer Fehlerart des MST (Gedächtnissuche). An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 8,7% unter 10% O_2 bzw. auf 9,4% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,75‰ an.

Während der Versuchsphase benötigen die Probanden beim UTT unter Mehrfachbelastung ungefähr 30 Sitzungen bis zum Erreichen eines stabilen Plateaus. Unter Hypoxie verschlechtern sich die Probanden um durchschnittlich 32%. Eine ähnlich hohe Verschlechterung tritt unter 0,7‰ Alkohol auf. Am Tag mit Hypoxiebelastung wurden 17 Kontrollverluste registriert und unter Alkohol 4 Kontrollverluste.

Hypothese 2: Partieller Schlafentzug führt zu einer Veränderung der Leistung in objektiven Leistungstests, die der unter Alkoholeinfluss und Hypoxie ähnelt

Als Fazit kann festgestellt werden, dass Alkohol, Sauerstoffmangel, Schlafentzug bei den meisten Testverfahren der AGARD-STRES-Battery gleichsinnige signifikante Leistungsdekremente verursachten und miteinander verglichen werden können.

Beim Reaktionszeittest SRT traten gleichgerichtete Veränderungen unter allen Stressoren Alkoholeinfluss, Hypoxie und Schlafdeprivation auf. Schon ab der ersten Nacht mit partieller Schlafdeprivation kam es beim SRT zu einer signifikanten Leistungsverschlechterung von $5,1 \pm 1,2\%$ (z=-2.023; p=0,043), die nach der dritten Nacht mit partieller Schlafdeprivation im Tagesmittel bis $9,4 \pm 1,2\%$ anstieg. Insbesondere der 15.00 Uhr-Wert des PSD Tages 3 fällt mit einer Verschlechterung der Leistungsfähigkeit von 13% auf. Bei Betrachtung der Tagesrhythmik mit Gegenüberstellung von Mittelwerten aus Kontroll- und allen Schlafentzugstagen zeigte sich beim SRT eine circadiane Komponente mit Verlangsamung der Reaktionszeiten nach Einnahme der Mahlzeiten. So war der Mittelwert der Reaktionszeiten über alle Probanden und alle Tage nach verkürzter Schlafdauer um

9.00 Uhr morgens mit $8,1 \pm 1,5\%$ und 15.00 Uhr nachmittags mit $8,9 \pm 3,1\%$ höher als an den restlichen Tageszeiten. Dies kann zum einen durch kohlenhydrat- oder fettreiche Mahlzeiten hervorgerufen werden und ist in der Literatur als „Post Lunch Dip“ bekannt, aber auch unabhängig von der Nahrungsaufnahme als Teil eines circadianen Verlaufs der Leistungsfähigkeit auftreten [Schmidt u. a., 2007]. Dass eine circadiane Komponente der Leistungsfähigkeit bei Aufgaben mit Reaktionszeitmessung und auch bei sensomotorischen Test besteht, konnte von Lenné u. a. [1997] unter Laborbedingungen bei 11 männlichen Probanden an einem Fahrsimulator, der für 30 min verteilt über 6 Tageszeiten eines 24h Tages bedient werden musste, nachgewiesen werden. Dabei zeigte sich eine Leistungsverschlechterung um 6.00 und 2.00 Uhr morgens, mit einer Verbesserung der Fahrleistung zwischen 10.00 and 22.00 Uhr und einem „Post Lunch Dip“ [Monk, 2005] am frühen Nachmittag. Dieser Effekt wurde auch unter Laborbedingung von Lowden u. a. [2004] bei einem einfachen Reaktionstest an 7 Probanden beobachtet, die während eines 24h andauernden Experiments ohne Schlaf, alle 4h kohlenhydrat- oder fettreiche Mahlzeiten einnehmen mussten und deren Leistungsfähigkeit im Stundentakt gemessen wurde. Die Probanden zeigten insbesondere wenige Stunden nach der kohlenhydratreichen Mahlzeit eine signifikante Leistungsverschlechterung. Auch konnte eine Zunahme der Schläfrigkeit anhand der Fragebögen (Karolinska-Schläfrigkeitsskala) festgestellt werden. Eine Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit vom Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme und Schlafdauer konnte auch in wirklichkeitsnahen Studien z.B. bei Leistungssportlern [Javierre u. a., 1996] oder bei Untersuchungen von Autofahrern oder Bahnpersonal [Carrier und Monk, 2000] nachgewiesen werden. Insgesamt kommt es unter Einfluss von Alkohol, Hypoxie und Schlafdeprivation zu einer Verschlechterung der Leistungsfähigkeit beim SRT. Setzt man alle Stressoren in Korrelation, so ergibt sich ein Leistungsabfall von 10% nach der dritten Nacht unter verkürzter Schlafdauer, die einer Leistungsfähigkeit unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% in der Atemluft oder einer BAK von 0,5‰ entspricht.

Beim Test zur Hand-Auge Koordinationen UTT traten ebenfalls gleichgerichtete Veränderungen unter allen Stressoren Alkoholeinfluss, Hypoxie und Schlafdeprivation auf. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von 21% nach der dritten Nacht mit Schlafdeprivation zeigte sich unter einer Sauerstoffkonzentration von etwa 12% oder einer Alkoholkonzentration von etwa 0,5‰. Die Probanden zeigten unter dem Einfluss der verkürzten Schlafdauer schon nach der ersten Nacht eine Leistungsverschlechterung von 7%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf 21% anstieg, um in der vierten Nacht wieder auf 17% leicht abzufallen. Die höchsten Leistungseinbußen mit über 38% wurden nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) um 09:00 Uhr gemessen. Ab der 2.Nacht häufen sich die Kontrollverluste mit 6 Ereignissen. 19 Kontrollverluste wurden nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD3) gezählt, 17 Kontrollverluste nach der vierten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD4).

Der Test zur Satzverifikation GRT führte bei den Probanden schon nach der ersten Nacht zu einer Leistungsverschlechterung der Reaktionszeiten von 7%, die nach den dar-

auffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD 2-4) Werte zwischen 10% und 12% erreichten. Eine vergleichbare Leistungsverschlechterung von etwa mehr als 10% zeigt sich auch unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% oder einer Alkoholkonzentration von 0,7‰. Somit traten unter allen Stressoren Alkoholeinfluss, Hypoxie und Schlafdeprivation gleichgerichtete Veränderungen auf.

Der Test zur Gedächtnissuche MST führte bei allen drei Stressoren zu einer Leistungsverschlechterung. Schon nach der ersten Nacht mit verkürzter Schlafdauer fand eine signifikante Leistungsverschlechterung (z=-2.023, p=0.043) von 5% statt, die nach den darauffolgenden Nächten mit verkürzter Schlafdauer (PSD 2-4) Werte bis 10% erreichte. In unserer Versuchsanordnung entspricht ein Leistungsabfall von 10% unter verkürzter Schlafdauer beim MST einer Leistungsfähigkeit unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% in der Atemluft. Es fällt auf, dass die Probanden unter moderatem Alkohol von unter 0,4‰ schneller eine Entscheidung treffen und verkürzte Reaktionszeiten zeigen. Lediglich unter einer Alkoholkonzentration von 0,7‰ wird eine um 5% verlängerte Reaktionszeit gemessen.

Der Test zur Gedächtnissuche MST unter Mehrfachbelastung Dual Task (DUT) führte zu vergleichbaren Ergebnissen wie unter Einfachbelastung. Die Versuchspersonen zeigten nach der ersten Nacht eine geringe Leistungsverschlechterung von 2%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf gerade 4% ansteigt. Eine vergleichsweise deutlichere Leistungsverschlechterung von 10% zeigt sich unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5%. Auch Alkoholkonzentrationen bis 0,5‰ führten zu keinen verlängerten Reaktionszeiten. Erst eine BAK von 0,7‰ führt zu einer geringen Verlängerung der Reaktionszeiten von 5%. Auch die vom Probanden begangenen Fehler zeigten ein ähnliches Ergebnis. An den Kontrolltagen betrug die Fehlerrate für Positiv $3,2 \pm 1,05\%$ und $2,1 \pm 0,87\%$ für Negativ bei der Gedächtnissuche. An den Tagen unter Hypoxie und Alkoholeinfluss steigt die Fehlerrate signifikant (z=-2.533, p=0.011) auf 8,7% unter 10% O_2 bzw. auf 9,4% unter der maximalen durchschnittlichen BAK von etwa 0,75‰ an. Unter verkürzter Schlafdauer ist ebenfalls eine Zunahme der Fehlerrate nachweisbar. Sie ist signifikant nach der 3. und 4. PSD-Nacht für den Fehler für Positiv erhöht (z=-2.023, p=0.043). Der Fehler für Negativ ist schon nach der 1. PSD-Nacht signifikant erhöht (z=-2.023, p=0.043).

Der Test zur Auge-Hand Koordination UTT unter Mehrfachbelastung Dual Task (DUT) führte nach der ersten Nacht zu einer diskreten Leistungsverschlechterung von 2%, die nach der dritten Nacht mit verkürzter Schlafdauer (PSD 3) auf 13% anstieg, um in der vierten Nacht wieder auf 4% abzufallen. Eine deutlichere Leistungsverschlechterung von 32% zeigte sich unter einer Sauerstoffkonzentration von 11,5% oder einer Alkoholkonzentration von 0,7‰. Auch dieses Resultat entspricht den Ergebnissen unter Einfachbelastung. Es wurde auch keine erhöhte Anzahl an Kontrollverlusten unter Schlafdeprivation, Alkohol und Hypoxie registriert.

Hypothese 3: Je nach Art der Leistungstest (Einfach-Reaktionsaufgabe, Wahl-Reaktionsaufgabe, Diskriminationsaufgabe) zeigen sich unterschiedliche Veränderungen der Leistungsfähigkeit

Alle Stressoren führten zu Einbussen der Leistungsfähigkeit (Tabelle 5.1). Jedoch zeigte sich eine unterschiedliche Sensitivität der Testkomponenten bei den untersuchten Stressoren.

		Reaktionszeiten bzw. RMS			Fehler bzw. Kontrollverluste		
		PSD 3	Alkohol	Hypoxie	PSD 3	Alkohol	Hypoxie
	UTT	21,33	28,79	41,01	19	4	14
	SRT	9,43	16,85	9,28	-	-	-
	MST	9,40	5,37	12,89	4,8 / 2,6	5,9 / 2,6	5,3 / 4,2
	GRT	9,79	10,39	15,63	5,2 / 4,2	9,4 / 5,3	8,4 / 6,9
DUT	**UTT**	13,24	31,66	31,79	7	2	10
DUT	**MST**	3,61	5,47	10,72	5,9 / 2,4	5,2 / 2,7	8,8 / 3,9

Tabelle 5.1.: Vergleich aller Stressoren und aller Testverfahren. In der linken Tabellenhälfte sind die prozentualen Abweichungen der Leistungsmessung unter Einfluss der Stressoren Schlafdeprivation nach der 3.Nacht, Alkohol (0,7‰ BAK) und Hypoxie (11,5% O_2) aufgeführt. Die rechte Tabellenhälfte gibt die ermittelten Kontrollverluste (beim UTT) oder die Fehlerrate (beim MST und beim GRT) wieder.

Ordnet man die Test der AGARD-STRES-Battery nach dem jeweiligen Ansprechen auf die Stressoren, so erhält man die Reihenfolge UTT > SRT > MST > GRT. Der DUT reagierte wie die Einzelkomponenten, i.e. MST und UTT. Am sensitivsten konnten UTT und SRT einen Einfluss der Stressoren aufdecken, weniger sensitiv erwiesen sich MST und GRT. Dagegen zeigte sich bei MST und GRT eine erhöhte Fehlerrate unter Stressoreneinfluss.

Hypothese 4: Partieller Schlafentzug führt zu einer veränderten Bewertung der subjektiven Leistungsfähigkeit, die der unter Alkoholeinfluss und Hypoxie ähnelt

Die Auswertung des NASA-TLX und der subjektiven Leistungsfähigkeit führt zu dem Schluss, dass sich die Versuchspersonen durch alle drei Stressoren beeinträchtigt fühlen. Die höchsten Indizes zur subjektiv empfundenen Beeinträchtigung wurden nach der 3.Nacht in der Deprivationsphase ermittelt. Zum Vergleich wurde die Leistungsfähigkeit an den Kontrolltagen mit einem NASA-TLX von 130 als mittel klassifiziert. In Zusammenschau mit den Kontrolltagen zeigt sich eine signifikante Erhöhung des NASA-TLX mit einem Maximalwert von 175 um 18:00 Uhr nach der 3.Nacht mit partieller Schlafdeprivation im Wilcoxon-Test (z=-2.023, p=0.043). An den Tagen unter Hypoxie wird mit einem Maximalwert von 11,5% O_2 ebenfalls eine signifikante Erhöhung (z=-2.521, p=0.012) des NASA-TLX auf 155 angegeben. Die Belastung unter Alkoholeinfluss wurde nicht signifikant höher eingestuft als an den Kontrolltagen. Die Selbsteinstufung der Probanden bei Alkoholkonzentrationen von 0,7‰ und 0,3‰ liegen dabei mit 145 und 147 NASA-TLX Punktwerten im mittleren Bereich. Bis auf die Selbsteinstufung der Proban-

den unter Alkoholeinfluss, bei der sich die Probanden als durchweg besser bewerteten, führt der partielle Schlafentzug zu einer veränderten Bewertung mit einer verschlechterten Einstufung der subjektiven Leistungsfähigkeit, die mit der Belastung unter Hypoxie vergleichbar ist. Setzt man den Alkoholeinfluss jedoch in Relation zu den verkürzten Reaktionszeiten unter MST und GRT, so ist hier ebenfalls eine Korrelation erkennbar.

6. Zusammenfassung

Das DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin hat bei Feldstudien an Piloten während Ihres Dienstes auf Langstreckenflügen eine verkürzte Schlafdauer festgestellt, die einerseits durch Zeitzonenüberschreitungen und dem dadurch bedingten Jet-Lag, anderseits durch kurze und ungünstige Layoverzeiten verursacht wurde. Weitere Feldstudien zur Belastung und Beanspruchung von Hubschrauberpiloten im Luftrettungsdienst ergaben, dass die Piloten während der Dienstperiode über mehrere Tage erheblich kürzer schliefen als in der dienstfreien Zeit. Diese Arbeitsbedingungen stellen eine Herausforderung an die Leistungsfähigkeit des Flugpersonals dar und können zu einer Beeinträchtigung seiner Einsatzbereitschaft und dadurch zu einem Risiko für die Flugsicherheit führen. Es besteht daher die Notwendigkeit einer an die Bedürfnisse des Flugpersonals angepassten Regelung der Flugdienst- und Ruhezeiten, mit dem Ziel Schlafstörungen und den daraus resultierenden Leistungseinbussen vorzubeugen. Die vorliegende Studie untersucht, inwieweit sich eine *verkürzte Schlafdauer* über mehrere Tage auf die Leistungsfähigkeit auswirkt. Unter Laborbedingungen wurde an 4 aufeinander folgenden Tagen der partielle Schlafentzug (Schlafdauer von 5 h) als Parameter der Leistungsbeeinflussung untersucht und mit der Auswirkung von Hypoxie und Alkohol als Stressoren verglichen. Die Messung der Leistungsfähigkeit erfolgte mit Hilfe von rechnergestützten Testverfahren, die als *AGARD-STRES-Battery* (AGARD Standardized Tests for Research with Environmental Stressors Battery) von einem NATO Gremium veröffentlicht [AGARD, 1989] wurden. Dabei erwiesen sich das Unstable Tracking (UTT) und die Einfachreaktion (SRT) als besonders sensitive Tests im Gegensatz zur sprachlichen Verarbeitung (GRT) und der Gedächtnissuche (MST). Für unterschiedliche Stressoren konnte so jeweils der Aufgabentyp, der den stärksten Indikator für die Wirkung auf die Leistungsfähigkeit darstellt, ermittelt werden. Gegenüber der Ausgangslage betrug die Beeinträchtigung bei Sauerstoffmangel (11,5% O_2) 41% im UTT und 9% im SRT, bei Alkohol (0,7‰) 29% im UTT und 17% im SRT, sowie nach 3 Nächten Schlafentzug 21% im UTT und 9% im SRT. Als eine einfache Regel konnte festgehalten werden, dass 3 Tage Schlafdefizit oder eine Hypoxie von 12% O_2 eine Leistungsverminderung ähnlich 0,5‰ Alkohol induzieren. Ergebnisse aus dem Versuchdesign der vorliegenden Studie können neben der luftfahrtbezogenen Fragestellung auch auf andere Verkehrsmodi und die Schichtarbeit übertragen werden.

A. Benutzerhandbuch - AGARD2EXCEL

In diesem Benutzerhandbuch wird die Bedienung, der Entwurf und die Implementierung von AGARD2EXCEL vorgestellt. AGARD2EXCEL besteht aus einem Set an Visual Basic für Anwendungen (VBA) Modulen und läuft unter der Standardsoftware Excel™ der Firma Microsoft. Ein Vorteil, Excel™ als Laufzeit-Umgebung zu verwenden, liegt darin, dass man die selbst programmierten Funktionen nahtlos mit allen Möglichkeiten einer Tabellenkalkulationssoftware nutzen kann. Dies betrifft vor allem die Datenein- und ausgabe sowie die Darstellung der Daten als Tabelle oder Diagramm. Da ein Schwerpunkt dieser Arbeit der Entwurf und die Implementierung einer unter Excel™ lauffähigen Auswerte-Software darstellt, werden in den nachfolgenden Abschnitten die einzelnen VBA-Module, die für diese Nachbearbeitung programmiert wurden, eingehend vorgestellt. Dabei wird der Augenmerk weniger auf die Programmierung als auf konzeptionelle Überlegungen, die letzten Endes zur der Entwicklung bestimmter Schlüssel-Module geführt haben, gerichtet. VBA als Programmiersprache ist zwar einfach zu erlernen, besitzt aber eine mächtige Objekt-Bibliothek, die sich fast nur anhand der Lehrbücher erschließt. Die Hilfsdateien von Excel™, die mit der Installations-CD ausgeliefert werden, sind leider lückenhaft. Daher werden wichtige Objekte, die gerade für die Erstellung der Graphischen Benutzer-Oberfläche und die Darstellung der Ergebnisse als Diagramme unerlässlich sind, in ihrer Funktionalität vorgestellt. So kann der Leser - auch ohne Programmiererfahrung - die Funktionalität von AGARD2EXCEL besser nachvollziehen. Die Module wurden so programmiert, dass eine einfache Adaption für neue Anwendungen möglich ist. AGARD2EXCEL kann daher mit geringem Aufwand um neue Funktionalitäten erweitert werden. Dadurch ist es möglich, mit Hilfe dieser VBA-Anwendung andere Leistungsdaten als die aus der AGARD-STRES-Battery erhobenen Datensätze auszuwerten.

A.1. Benutzer-Anforderungen

Seitens der Arbeitsgruppe der Abteilung Flugphysiologie des DLR-Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln-Porz wurden bestimmte Anforderungen an das Auswerte-Tool AGARD2EXCEL gestellt:

- Jeder Proband, der mit einem Buchstaben (A bis H in der Test-Phase, bzw. L bis Z in der Trainings-Phase) identifiziert wird, soll eine zugeordnete Stamm-Datei unter Excel™ erhalten, in der alle Ergebnisse aus den verschiedenen AGARD-STRES-Battery Leistungstests zusammengeführt werden.

- Diese Stamm-Datei besteht aus einer Arbeitsmappe mit sechs unterschiedlichen Tabellenblättern, in der wichtige Daten, wie Datum und Uhrzeit, sowie die statistischen Ergebnisse (Mittelwert, Standardabweichung der Reaktionszeiten, Fehlerquote) der einzelnen Leistungstest (GRT, SRT, MST, UTT, DUT und TLX) automatisiert eingetragen werden.

- Tabellenwerte sollen auch gleich als Diagramme visualisiert werden können. Damit kann ein Trend im Verlauf (z.B. als Regressionsgerade) der Leistungsdaten erkannt werden.

- Die gesamte Bedienung des Auswerte-Tools soll benutzerfreundlich gestaltet werden. Benutzer ohne Kenntnis der internen Struktur der Ergebnis-Daten der Leistungstest sollen in der Lage sein, die Daten auszuwerten. Interaktionen erfolgen über Menü-Einträge oder Symbolleisten mit speziellen Schaltflächen und Hilfe-Texten.

Wie aus diesen Benutzeranforderungen zu ersehen ist, besteht die erste Aufgabe in der Erstellung der jedem Probanden zugeordneten Arbeitsmappe (Schritt 1 in der Abb. A.1). Diese Arbeitsmappe besitzt sechs Tabellenblätter (für jeden Leistungstest eine korrelierende Tabelle). Die Zeilengröße der Tabelle wird nach der Anzahl der Sitzungen festgelegt. Die Anzahl an Spalten hängt von den Parametern der Leistungsdaten aus den Subtest der AGARD-STRES-Battery ab, die statistisch ausgewertet werden sollen. Wieso die Spalten so gewählt wurden und wie die Zellen aufgefüllt werden (Schritt 2 in der Abb. A.1), wird im Abschnitt „A.8 Prozessieren der Leistungsdaten“ auf Seite 150 erklärt. Zunächst folgt eine Kurzanleitung für die Benutzung des Auswerte-Tools, so dass der Benutzer, der an der technischen Realisierung weniger interessiert ist, in den Gebrauch eingewiesen werden kann. In den darauf folgenden Abschnitten erläutere ich, weshalb ich mich für das Konzept der „Programmierung als Add-In“ entschieden habe. Danach wird die Struktur der Arbeitsmappe und die statistische Auswertung der Ergebnis-Daten aus den AGARD-STRES-Battery Leistungstests vorgestellt. Abschließend folgt eine Beschreibung der Module zur Visualisierung der aufgefüllten Tabellen als Diagramme.

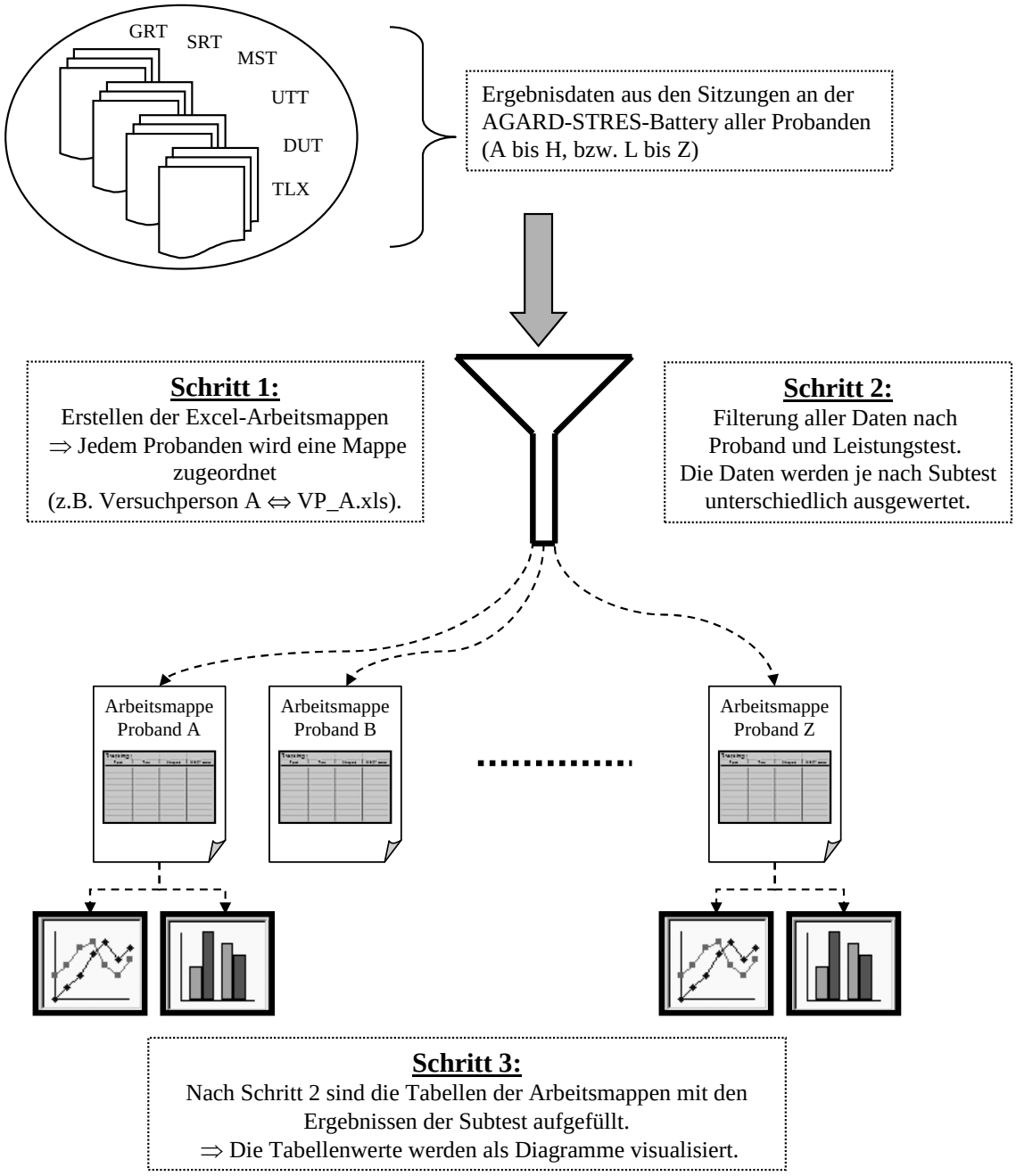

GRT
SRT
MST
UTT
DUT
TLX
Ergebnisdaten aus den Sitzungen an der AGARD-STRES-Battery aller Probanden (A bis H, bzw. L bis Z)
Schritt 1:
Erstellen der Excel-Arbeitsmappen
⇒ Jedem Probanden wird eine Mappe zugeordnet
(z.B. Versuchperson A ⇔ VP_A.xls).
Schritt 2:
Filterung aller Daten nach Proband und Leistungstest.
Die Daten werden je nach Subtest unterschiedlich ausgewertet.
Arbeitsmappe Proband A
Arbeitsmappe Proband B
Arbeitsmappe Proband Z
Schritt 3:
Nach Schritt 2 sind die Tabellen der Arbeitsmappen mit den Ergebnissen der Subtest aufgefüllt.
⇒ Die Tabellenwerte werden als Diagramme visualisiert.

Abb. A.1.: Die Benutzeranforderungen für das Tool AGARD2EXCEL, die im Rahmen dieser Dissertation als Excel-Module umgesetzt werden mussten. Ausgehend von den Ergebnisdaten der Leistungstests aus der AGARD-STRES-Battery erfolgt eine schrittweise Abarbeitung der Daten. Zunächst wird im ersten Schritt eine Probanden-spezifische Excel Arbeitsmappe generiert. Dieser Schritt muss lediglich einmal für die Erzeugung der Stammdatei durchgeführt werden. Im nachfolgenden Schritt 2 können mehrere Leistungstests ausgewählt werden, die im Batch-Modus als Stapel prozessiert werden. Abschließend kann in Schritt 3 eine Visualisierung der Ergebnisse als Diagramme erfolgen. Dazu werden auch Trendlinien berechnet, die den zeitlichen Verlauf der Leistungsergebnisse und die Fehlerrate wiedergeben.

A.2. Kurzanleitung AGARD2EXCEL

Die graphische Benutzeroberfläche (GUI) von AGARD2EXCEL wird beim Starten des Add-In in die Benutzeroberfläche von Excel™ integriert. Die GUI folgt in ihrem Aufbau

den Benutzeranforderungen entsprechend der Abb. A.1. Besonders einfach ist die Bedienung, wenn über die Maus die Symbole in der Symbolleiste von AGARD2EXCEL von links nach rechts angewählt werden. Wie der Leser in der Abb. A.2 erkennt, wird durch Anklicken des ersten Symbols der Symbolleiste der erste Schritt – das Erzeugen einer Arbeitsmappe für einen Probanden – ausgeführt.

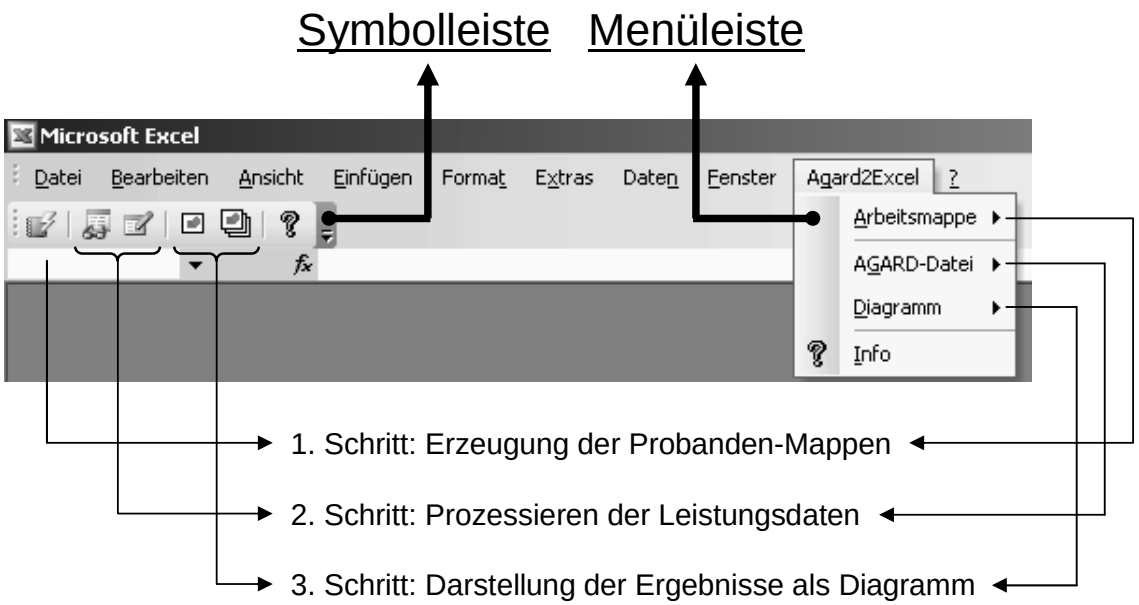


Abb. A.2.: Die graphische Benutzeroberfläche von AGARD2EXCEL. Wenn das Add-In erfolgreich in Excel™ geladen wird, erscheint eine zusätzliche Symbol- und Menüleiste. Diese sind so aufgebaut und angeordnet, dass die erforderlichen Schritte – vom Anlegen einer Probanden-Mappe bis zur Visualisierung der Ergebnisse als Diagramm – nacheinander ausgeführt werden können. Alle Benutzer-Interaktionen können entweder über die Maus oder die Tastatur erfolgen.

In der nächsten Symbolgruppe, die sich durch Trennzeichen von den benachbarten Symbolen abhebt, kann der Benutzer sich unter Excel™ eine Leistungsdatei anzeigen lassen oder auch gleich ganze Serien prozessieren. Diese Aktion entspricht dem zweiten Schritt der Benutzeranforderungen – das Prozessieren der Leistungsdaten. Wenn alle Daten abgearbeitet wurden, kann in der letzten Symbolgruppe entweder zu einem einzelnen Tabellenblatt oder aber auch gleich zu allen vorhandenen Tabellenblättern das entsprechende Diagramm-Blatt generiert werden. Dies ist Schritt drei der Benutzeranforderung – Darstellung der Ergebnisse als Diagramm. Das letzte Symbol, das Informationssymbol, öffnet wie in Abb. A.3 gezeigt, ein Fenster mit Hinweisen zur Version von AGARD2EXCEL und weiterführenden Informationen.

Abb. A.3.: In dem Informations-Dialog von AGARD2EXCEL erhält der Benutzer Hinweise zur Installation und der Bedienung des Add-In. Darüber hinaus erfährt man, welche Version aufgerufen wurde und welche Änderungen von Version zu Version erfolgt sind.

A.3. Tabellenkalkulationsprogramm Excel™

Excel™ ist bereits in seiner Standardform ein sehr mächtiges Tabellenkalkulationsprogramm mit zahlreichen Funktionen der Kalkulation, der Datenanalyse und -präsentation. Mit seiner integrierten Entwicklungsumgebung (IDE, Integrated Developement Environment) erlaubt Excel™ es dem Anwender, eigene Erweiterungen zu programmieren und das Spektrum an Funktionen beträchtlich zu erweitern. Die Abbildung A.4 zeigt die IDE mit dem geladenen AGARD2EXCEL-Projekt. Als Programmiersprache steht VBA zur Verfügung. Die Syntax dieser formalen Sprache gründet sich auf *Visual Basic*. Sie ist für den Anfänger einfach zu erlernen, bietet aber schon die Vorzüge einer Objekt-Orientierten Sprache, mit der Möglichkeit, Klassen und zugehörige Methoden zu erstellen.

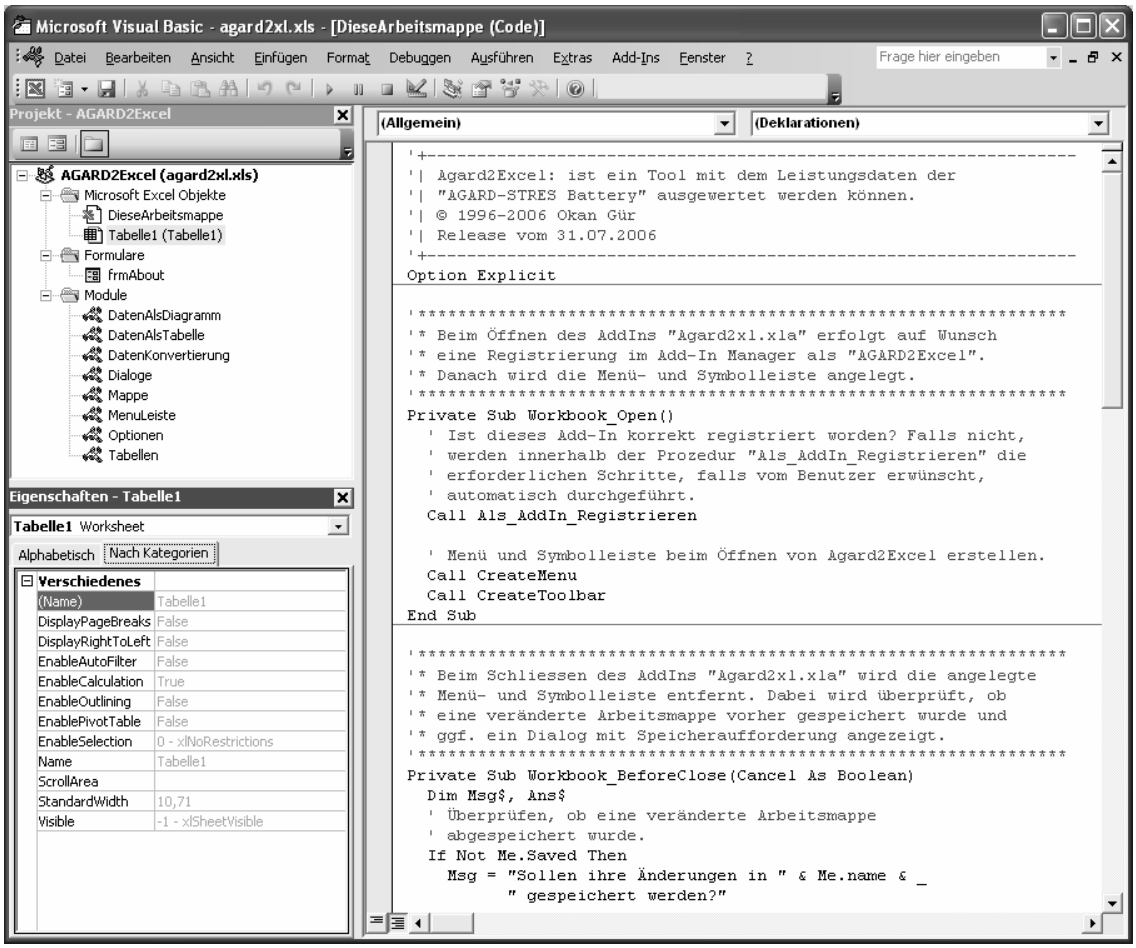


Abb. A.4.: Der Screenshot zeigt den VBA Editor. In dem Projekt Explorer wurde AGARD2EXCEL geladen. Die Objekte, Formulare und Module sind als Baumstruktur organisiert. Durch Auswahl werden im Eigenschaftsfenster die jeweiligen Attribute in einer Tabelle aufgelistet. Im Code Editor erfolgt die Programmierung der einzelnen Objekte und Module. Die Formulare werden durch einen GUI-Builder visuell generiert. Der VBA Editor ist sehr komfortabel und bietet neben Syntax Highlighting auch eine Fehlerkontrolle an.

Es ist natürlich nicht möglich und auch nicht beabsichtigt, in diesem Kapitel eine Einführung in VBA zu geben. Für ein besseres Verständnis der Programmierung mit VBA unter Excel™ empfehle ich als deutschsprachige Einführung die Bücher von Michael Kofler [Kofler, 2002, 2004]. Sehr zu empfehlen sind auch die englischsprachigen Lehrbü-

cher von John Walkenbach [Walkenbach, 2001, 2002, 2003, 2004]. Ich habe diese Bücher als Nachschlagewerke bei der Programmierung von AGARD2EXCEL verwendet.

Die vorliegende Arbeit enthält im Anhang den vollständigen Quelltext von AGARD2EXCEL. Der Quelltext ist weitgehend selbsterklärend, da er aus relativ kurzen Funktionen und Prozeduren besteht, deren jeweiliger Zweck aus ihrem Namen erschlossen werden kann. Hierfür wurde ausgiebig die Möglichkeit genutzt, in Visual Basic fast beliebig lange Zeichenketten als Bezeichner zu verwenden. Darüber hinaus wird jeder Prozedur und Funktion ein Block-Kommentar vorangestellt, in der die Aufgabe und Signatur (Methodenname mit Parameterliste) ausführlich dokumentiert werden. Unter VBA werden Kommentare mit einem *Hochstrich (')* gekennzeichnet. Zusätzliche Kommentare innerhalb der Prozeduren bieten –insbesondere bei Methodenaufrufen oder Schleifendurchgängen– dem Interessierten weitere Hilfen beim Verständnis der Programmstruktur. Um den Quelltext übersichtlicher zu gestalten, habe ich alle Kommentare *kursiv* gesetzt und die Zeilen durchnummeriert. So können Referenzen innerhalb einer Prozedur besser aufgefunden werden. Das Einrücken der Zeilen anhand zugehöriger Operatoren, wie z.B. Schleifenanfänge und -enden, soll durch eine bessere Abgrenzbarkeit das Lesen des Quelltextes erleichtern.

Die nachfolgende Beispiel-Prozedur zeigt den gewählten Software Kodierungsstandard (engl. Codestyle). Das Modul rechnet die Summe der Zahlen von 1 bis 10. Dazu wird eine Schleifen-Prozedur (For ... Next) durchlaufen. Das Ergebnis (55) wird als Nachrichten-Fenster (engl. Message-Box, siehe Abb. A.5) ausgegeben.

```
 1:  '*****************************************************************
 2:  '* Dies ist ein
 3:  '* Blockkommentar.
 4:  '*****************************************************************
 5:  Sub Prozedurname()
 6:    ' Parameter
 7:    Dim Zahl&
 8:
 9:    ' Laufvariablen der Schleife
10:    Dim Untergrenze&, Obergrenze&
11:
12:    ' Initialisierung
13:    Zahl = 0
14:    Untergrenze = 1
15:    Obergrenze = 10
16:
17:    ' Dies ist ein Kommentar innerhalb der Prozedur
18:    For k = Untergrenze To Obergrenze  ' Schleifenanfang
19:      ' Schleifenkörper
20:      Zahl = k + Zahl
21:    Next k ' Schleifenende
22:
23:    ' Ausgabe der Zahl im Dialogfenster
24:    MsgBox "Die Zahl hat den Wert: " & Zahl, vbInformation, _
25:    "Eine einfache Prozedur"
26:  End Sub
```

Gemäß dieser Konvention werden in den folgenden Abschnitten wichtige Prozeduren von AGARD2EXCEL erklärt.

Abb. A.5.: Ausgabe der Beispielprozedur zur Berechnung der Summe der Zahlen zwischen 1 und 10. Das Nachrichten-Fenster mit dem Fenstertitel „Eine einfache Prozedur“ gibt als Ergebnis der Berechnung die Zahl 55 aus.

A.4. Excel Voreinstellungen

Bevor AGARD2EXCEL ausgeführt wird, müssen bestimmte Grundeinstellungen am Betriebssystem und Excel™ gegeben sein. Dazu wird im Betriebssystem (in unserem Beispiel handelt es sich um Windows XP Professional) die Systemsteuerung über die Taskleiste (Start ⇒ Einstellungen ⇒ Systemsteuerung) aufgerufen und die *Regions- und Sprachoptionen* (Abb. A.6) ausgewählt. Hier können die Anzeigeeinstellungen für Sprachen, Zahlen, Währung, Datum und Uhrzeit anpasst werden. Wichtig ist, das als Einstellung „Deutsch (Deutschland)“ festgelegt ist. Nur so lassen sich die Ergebnis-Textdateien in den Modulen zum „Prozessieren der Leistungsdaten“ korrekt auswerten, da ansonsten unterschiedliche Trennzeichen (Komma, Punkt) falsch interpretiert werden. Nachdem in der Systemsteuerung die Regions- und Sprachoptionen angepasst wurden, müssen die Einstellung auch für Excel™ übernommen werden. Über die Menüleiste von Excel™ (Menüauswahl Extras ⇒ Optionen) erscheint das Optionsfenster (Abb. A.7). Nun wird die Registerkarte „International“ auswählt. In dem Feld „Behandlung von Zahlen“ muss durch Setzen des Häkchens in dem Kontroll-Kästchen (engl. Checkbox) „Trennzeichen vom Betriebssystem übernehmen“ die Einstellungen der Regions- und Sprachoptionen des Betriebssystems auf Excel™ ausgeweitet werden.

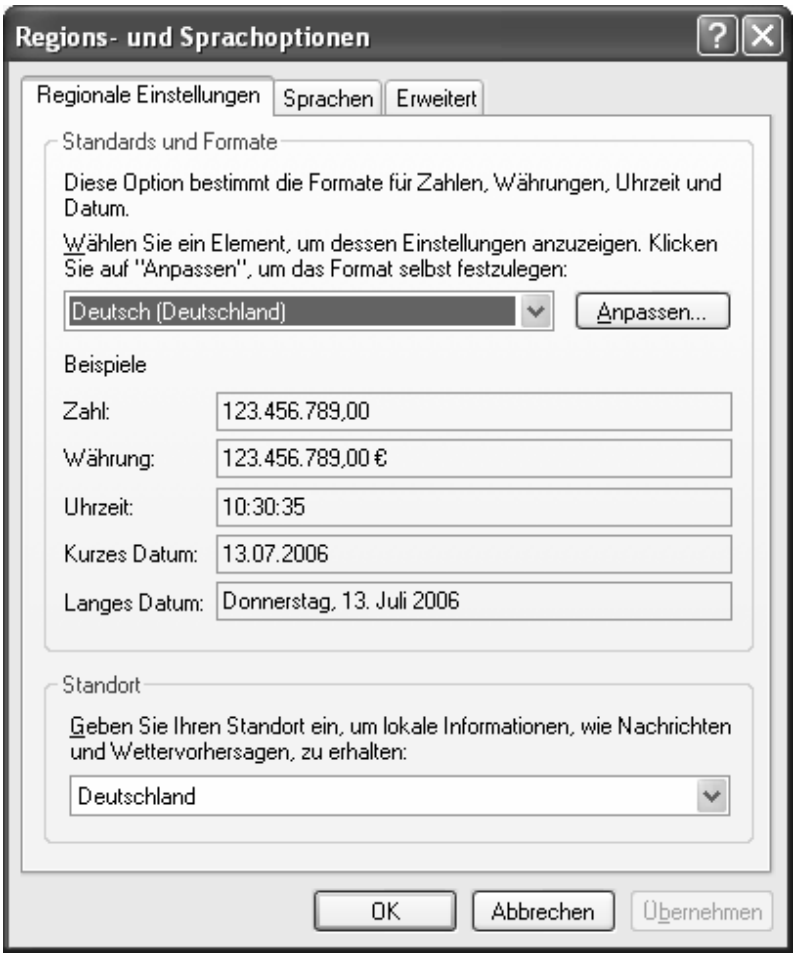


Abb. A.6.: Regions- und Sprachoptionen.

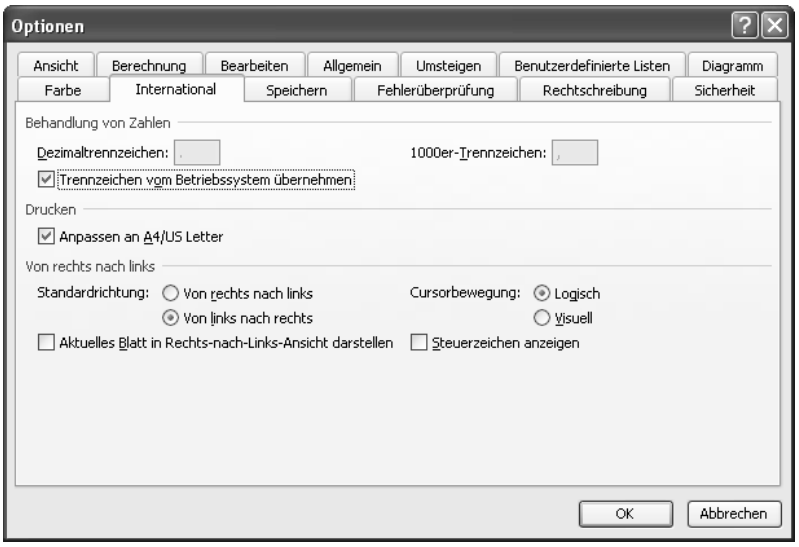


Abb. A.7.: Excel Einstellung.

A.5. Programmierung als Add-In

AGARD2EXCEL wurde als ein sog. Add-In erstellt und entsprechend der MS DOS[1]-Konvention (8 Zeichen für Datei-Namen und 3 für die Datei-Endungen) unter dem Da-

[1]Microsoft Disk Operating System

teinamen „agard2xl.xla“ abgelegt. Microsoft definiert *Add-In* als ein zusätzliches Programm zum Hinzufügen von benutzerdefinierten, optionalen Befehlen und Funktionen zu Microsoft Office™. Aus folgenden Gründen sollte eine Excel™-Anwendung als Add-In programmiert werden [Walkenbach, 2004]:

- *Der Zugriff auf den Programm-Code und die Dialogfelder wird eingeschränkt*: Bei der Erstellung und Weitergabe einer Anwendung als Add-In kann der Programm-Code mit einem Passwort geschützt werden, so dass der Benutzer den VBA-Code weder sehen noch verändern kann (siehe Abb. A.8).

- *Die Benutzerfreundlichkeit wird verbessert*: Wenn ein Benutzer die Anwendung als ein Add-In lädt, dann ist die Arbeitsmappe und insbesondere der Programm-Code nicht sichtbar, was ansonsten gerade bei unerfahrenen Benutzern zur Verwirrung führen kann.

- *Der Zugriff auf neue Funktionalitäten wird vereinfacht*: Das Add-In kann mit einem zusätzlichen Namen und einer Kurzbeschreibung ausgestattet werden, die dann in speziellen Register-Fenstern (Abb. A.9) angezeigt werden können.

- *Das Ladeverhalten der optionalen Befehle und Funktionen läßt sich einfacher kontrollieren*: Add-Ins können automatisch gestartet werden, wann immer ein Benutzer Excel™ öffnet. Dabei spielt es keine Rolle, in welchem Verzeichnis das Add-In auf der Festplatte abgelegt wurde.

- *Beim Schließen der optionalen Befehle und Funktionen werden unnötige Dialoge vermieden*: Der Benutzer bekommt keine unnötige Abfragen, wie „Sollen Ihre Änderungen in ’xxx’ gespeichert werden?“, beim Schließen der Anwendung.

Nachdem die Vorteile, eine Excel™-Anwendung als Add-In zu programmieren, aufgezählt wurden, wird in den nachfolgenden Abschnitten die Vorgehensweise der Erstellung und des Aufrufs des Auswerte-Tool AGARD2EXCEL als Add-In erklärt.

A.5.1. Erstellen eines Add-In

Die Erstellung eines Add-Ins aus einer Excel™-Arbeitsmappe erfordert keine zusätzliche Software oder Programmiertechniken. Jede Excel™-Arbeitsmappe, die Makros enthält, die auf keine eigenen Tabellenblätter in ihrem Funktionsablauf angewiesen sind, kann zu einem Add-In konvertiert werden. Das liegt daran, dass Tabellenblätter eines Add-Ins dem Benutzer nicht angezeigt werden und daher nicht zugreifbar sind.

Während der Programmierung von AGARD2EXCEL wurde zunächst eine Excel™-Arbeitsmappe (’*.xls’) mit den benötigten Prozeduren und Funktionen erstellt. Da der Prozedur-Aufruf der Benutzer über eine graphische Benutzeroberfläche (engl. Graphical User Interface, GUI) erfolgen sollte, bestand der nächste Schritt in der Programmierung von zusätzlichen Menü- und Symbolleisten. Vor der ersten Veröffentlichung wurde

AGARD2EXCEL ausführlich getestet, insbesondere unter der Bedingung, dass verschiedene Excel™-Arbeitsmappe geöffnet und aktiviert werden. Diese Tests wurden unter verschiedenen Excel™-Versionen (im Release 1.0 unter der Excel™-Version 5/95, später unter den Versionen 2000, 2002 und der zur Zeit aktuellen Version 2003) durchgeführt. Erst nachdem alle Fehler beseitigt waren, fand die Konvertierung in das Add-In statt. Dabei wurden folgende Schritte eingehalten:

1. Der Visual Basic-Editor (Tastenkombination Alt+F11; Abb. A.4) wird aktiviert und das AGARD2EXCEL-Projekt ausgewählt.

2. Über den Menü-Eintrag „Debuggen“⇒„Kompilieren von AGARD2EXCEL“ wird das VBA Quelltext kompiliert. Dabei erfolgt eine Überprüfung von Syntax-Fehlern, die schrittweise korrigiert werden können. Natürlich lässt sich eine Excel™-Arbeitsmappe (XLS) auch gleich als Add-In (XLA) speichern, jedoch unterbleibt in diesem Fall die Syntax-Überprüfung, und das Add-In ist unter Umständen fehlerhaft.

3. Optional kann ein Passwort-Schutz über den Menü-Eintrag „Extras“⇒ „Eigenschaften von AGARD2EXCEL...“ erfolgen. Dabei wird ein Dialogfenster angezeigt, dessen zweite Registerkarte „Schutz“ einen Passwortschutz ermöglicht (siehe Abb.A.8).

Abb. A.8.: Aktivierung des Passwort-Schutzes.

4. Nachdem das Projekt gespeichert wurde, wird der Visual Basic-Editor geschlossen und die Arbeitsmappe als „Microsoft Office Excel-Add-In (*.xla)“ im Menü-Eintrag „Datei“ ⇒ „Speichern unter...“ gespeichert. Dabei wird immer der in der Windows Registry vermerkte Standard-Ordner (für Excel 2003 ist es der Eintrag

`HKEY_CURRENT_USER\Software\Microsoft\Office\11.0\Excel\Add-in Manager`) geöffnet, jedoch das Add-In kann unter jedem beliebigen Verzeichnis abgelegt werden.

Mit diesen Schritten ist aus der AGARD2EXCEL Excel™-Arbeitsmappe ein Add-In erzeugt worden. Die originäre Excel™-Arbeitsmappe bleibt weiterhin geöffnet und kann separat gespeichert werden. Nachdem das Add-In generiert wurde, muss es korrekt in Excel™ geladen werden.

A.5.2. Laden und Entfernen eines Add-In

Die einfachste Art ein Add-In zu laden oder wieder zu entfernen, ist der Einsatz des Add-In Dialogfensters, der über den Menü-Eintrag „Extras“⇒„Add-Ins“ aufgerufen wird. In diesem Dialogfenster werden alle registrierten Add-Ins aufgelistet. Die Abb. A.9 zeigt das Dialogfenster vor und nach dem Laden des Add-In AGARD2EXCEL. Um dem Benutzer eine Kurzbeschreibung des Add-In anzubieten, wurden zusätzliche deskriptive Informationen zu den Eigenschaften des Add-In hinzugefügt. Diese werden im unteren Feld des Dialogfensters angezeigt.

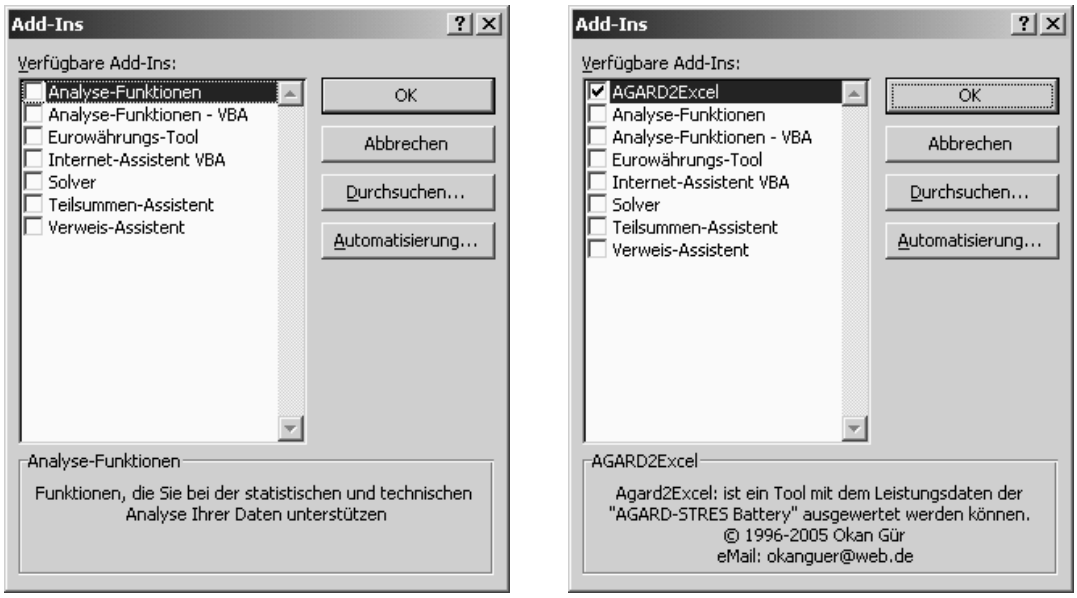


Abb. A.9.: Das Add-Ins Dialogfenster. Nach dem Lokalisieren und Laden des Add-Ins AGARD2EXCEL über den Schaltknopf (engl. Button) „Durchsuchen...“ erscheint ein neuer Eintrag in der Add-In Liste. Das Add-In ist damit registriert und kann unter Excel™ verwendet werden. Durch Setzen des Häkchens in dem Kontroll-Kästchen (engl. Checkbox) wird das Add-In aufgerufen. Das Add-In AGARD2EXCEL hängt seine Symbolleisten und Menü-Einträge der Excel™-Oberfläche an und kann gleich zur Laufzeit von Excel™ benutzt werden.

Um dem Add-In AGARD2EXCEL eine Kurzbeschreibung hinzuzufügen, wurden noch vor der Konvertierung der Arbeitsmappe zu einem Add-In die jeweiligen Felder in dem Eigenschaftseditor aufgefüllt. Dazu ruft man über den Menü-Eintrag „Datei“⇒„Eigenschaften“ das Eigenschafts-Dialogfenster. Das enthält mehrere Registerkarten. Über die Registerkarte „Zusammenfassung“ gelangt man zu den deskriptiven Feldern, die in unserem Fall entsprechend der Abb. A.10 ausgefüllt wurden.

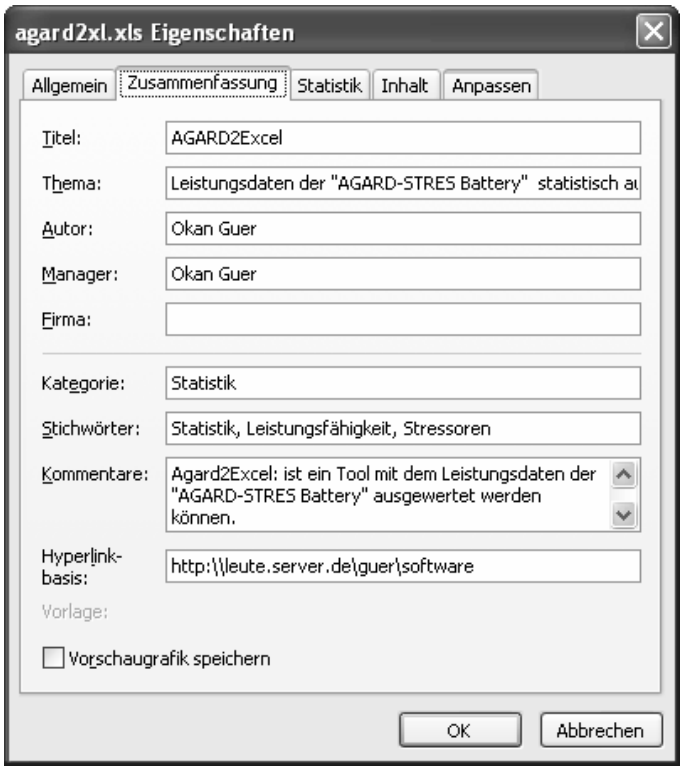


Abb. A.10.: Das Eigenschafts-Dialogfenster enthält eine Registerkarte „Zusammenfassung“, über die beschreibende Felder zu dem Add-In ausgefüllt werden können. Damit wird nach der erfolgreichen Registrierung des Add-Ins eine Kurzbeschreibung in dem Add-In Manager angezeigt.

Erstaunlicherweise gibt es keinen direkten Weg, ein Add-In aus der Add-In Liste zu löschen. Der Add-In Manager besitzt keine „Löschen“- oder „Entfernen“-Methode. Ein Weg, ein registriertes Add-In wieder aus der Liste zu entfernen, führt – gemäß der Abb. A.11 – über das Editieren der Windows Registry (für Excel 2003 ist es der Eintrag `HKEY_CURRENT_USER\Software\Microsoft\Office\11.0\Excel\Add-in Manager`).

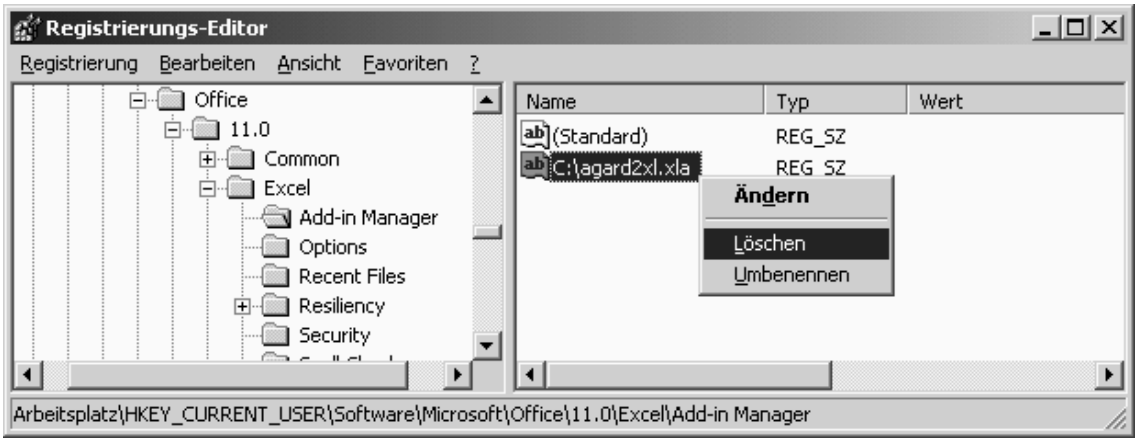


Abb. A.11.: Ein Weg, ein registriertes Add-In wieder aus der Liste zu entfernen, führt über das Editieren der Windows Registry. Dazu wird das Add-In aus dem Ordner `Arbeitsplatz\HKEY_CURRENT_USER\Software\Microsoft\Office\11.0\Excel\Add-in Manager` gelöscht.

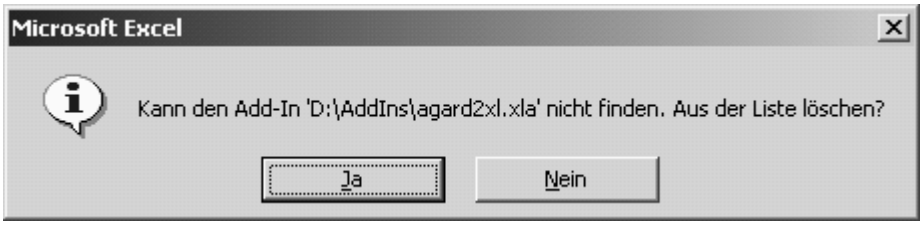


Abb. A.12.: Entfernen eines Add-Ins aus der Liste von registrierten Add-Ins unter Excel™: Ein praktikabler Weg, einen Eintrag aus der Liste von registrierten Add-Ins unter Excel™ wieder zu entfernen, führt über das Löschen der XLA-Datei aus dem Verzeichnis. Beim nächsten Aufruf von Excel™ erscheint ein Warnhinweis mit der Möglichkeit, das Add-In aus der Liste zu entfernen.

Doch sollte ein unerfahrener Benutzer keine Einträge in der Windows Registry bearbeiten. Daher ist der zweite Weg, ein Add-In aus dem Verzeichnis zu löschen, der praktikablere Weg. Dieser besteht darin, das Add-In in einen anderen Ordner zu verschieben oder es einfach umzubenennen. Beim nächsten Versuch, das Häkchen in dem Kontroll-Kästchen des Add-In Manager von Excel™ zu setzen oder wieder zu entfernen, erscheint ein Warnhinweis wie Abb. A.12 mit der Möglichkeit, das Add-In aus der Liste zu entfernen.

A.5.3. Automatische Selbst-Registrierung

Bei der Programmierung von AGARD2EXCEL wurde stets auf die Benutzerfreundlichkeit geachtet. Um einem unerfahrenen Benutzer das korrekte Laden von AGARD2EXCEL als Add-In zu erleichtern, habe ich einige Prozeduren erstellt, die eine automatische Selbst-Registrierung, natürlich mit Zustimmung des Benutzers, in der Add-Ins Liste des Add-In Managers durchführen.

Das Prinzip der automatischen Selbst-Registrierung basiert darauf, dass das Öffnen und Schließen einer Arbeitsmappe unter Excel™ Events (dt. Ereignisse) sind, die durch Listeners (dt. Horcher) abgefragt werden können. Das Auftreten von diesen Events führt bei den Listeners zu weiteren Handlungen, dem sog. *Event-Handling*, die von einem Programmierer festgelegt werden. Dabei ist es erforderlich, die richtige Namenskonvention für Ereignisse einzuhalten. So führt unter Excel™ das Event *Öffnen einer Arbeitsmappe* zum Aufruf der Prozedur *Workbook_Open()*. Entsprechend wird das Schließen einer Arbeitsmappe an die Prozedur *Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)* weitergereicht. Dieses Kommunikationsmodell nennt sich *Delegation Event Model* oder *Delegation Based Event Handling* und ist ein wichtiges Konzept der Objekt-Orientierten Programmierung. Auch AGARD2EXCEL nutzt das *Delegation Event Model*. Danach überprüft - wie man dem nachfolgenden Programm-Quelltext entnimmt - AGARD2EXCEL beim Öffnen der Arbeitsmappe zunächst, ob das Add-In korrekt installiert wurde. Dies erfolgt im Methodenaufruf *Call Als_AddIn_Registrieren* (Zeile 10). Anschließend werden die Menü- und die Symbolleisten angelegt (Zeile 13 und 14).

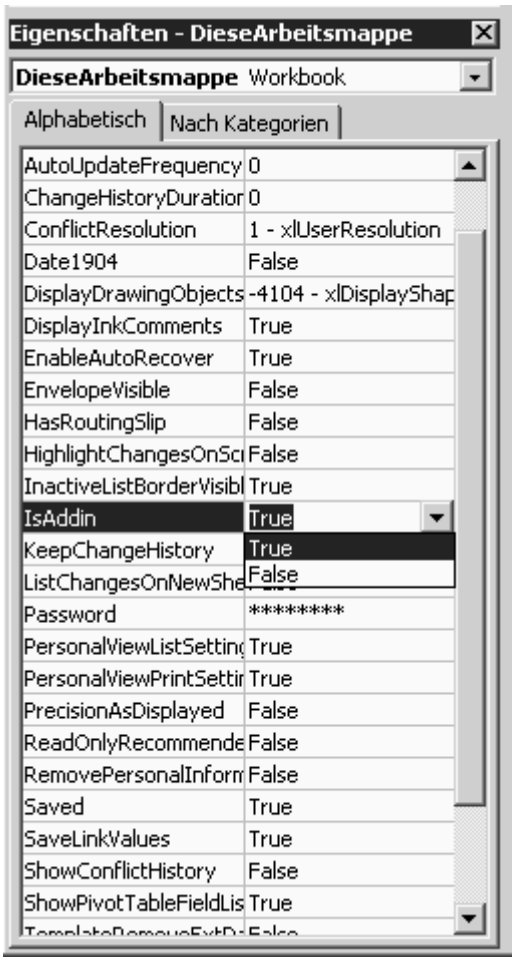


Abb. A.13.: Mit Hilfe des Eigenschaftseditors kann eine Arbeitsmappe als Add-In gekennzeichnet werden. Diese Eigenschaft wird bei der automatisierten Registrierung des Add-Ins in dem Add-In Manager abgefragt.

```
 1:  '*********************************************************************
 2:  '* Beim Öffnen des AddIns "Agard2xl.xla" erfolgt auf Wunsch eine
 3:  '* Registrierung im Add-In Manager als "AGARD2Excel".
 4:  '* Danach wird die Menü- und Symbolleiste angelegt.
 5:  '*********************************************************************
 6:  Private Sub Workbook_Open()
 7:    ' Ist dieses Add-In korrekt registriert worden? Falls nicht, werden
 8:    ' innerhalb der Prozedur "Als_AddIn_Registrieren" die erforderlichen
 9:    ' Schritte, falls vom Benutzer erwünscht, automatisch durchgeführt.
10:    Call Als_AddIn_Registrieren
11:
12:    ' Menü und Symbolleiste beim Öffnen von Agard2Excel erstellen.
13:    Call CreateMenu
14:    Call CreateToolbar
15:  End Sub
```

Die Prozedur zur automatischen Registrierung eines Add-Ins *Als_AddIn_Registrieren()* wurde so programmiert, dass zunächst eine Abfrage erfolgt, ob es sich bei der Excel™-Arbeitsmappe auch wirklich um ein Add-In handelt (Zeile 10). Diese Information ist eine Eigenschaft der Arbeitsmappe. Falls es sich bei der Arbeitsmappe um kein Add-In handelt (siehe Abb. A.13), wird die gesamte Prozedur verlassen.

Abb. A.14.: Aufforderung für das automatische Installieren des AddIns AGARD2EXCEL. Wenn der Benutzer das Add-In AGARD2EXCEL das erste Mal lädt, erscheint ein Dialogfenster mit der Frage, ob das Add-In installiert werden soll. Wenn der Benutzer die Installation bestätigt, werden die erforderlichen Prozeduren für die Registrierung durchgeführt.

Handelt es sich hingegen um ein Add-In, wird als nächstes überprüft, ob das Add-In schon registriert ist (Zeile 14). Falls nicht, erscheint ein Dialogfenster (Zeilen 17-19) entsprechend der Abb. A.14. Der Benutzer kann auf Wunsch eine Installation durchführen, so dass beim nächsten Aufruf von Excel™ das Add-In AGARD2EXCEL mitgeladen wird.

Nach der Installation kann der Titel des Add-In (falls das Feld in dem Eigenschaftsdialog wie in Abb.A.10 ausgefüllt wurde) abgefragt werden. Dazu wurde eine Funktion *GetTitle(wb)* programmiert, die als Parameter eine Arbeitsmappe erhält und den Titel zurückgibt. Diese Funktion wird in Zeile 31 der Prozedur *Als_AddIn_Registrieren()* verwendet, um dem Benutzer eine Rückmeldung (siehe Abb. A.15) über die erfolgreiche Installation des Add-Ins zu geben und ihn darauf hinzuweisen, unter welchem Titel das Add-In registriert wurde.

```
 1:  '*********************************************************************
 2:  '* Prozedur zur automatischen Registrierung eines Add-Ins.
 3:  '*********************************************************************
 4:  Sub Als_AddIn_Registrieren()
 5:     Dim name$, tmp$, merk$, frage%, AddInTitle$, Msg$
 6:     Dim n As Boolean
 7:
 8:     ' Falls diese Arbeitsmappe kein Add-In ist,
 9:     ' wird die Prozedur abgebrochen.
10:     If Not ThisWorkbook.IsAddin Then Exit Sub
11:
12:     name = ThisWorkbook.BuiltinDocumentProperties(1)
13:     On Error Resume Next
14:     tmp = AddIns(name).Installed
15:     If Err.Number <> 0 Then
16:     ' Der Benutzer wird gefragt, ob das Add-In registriert werden soll.
17:        frage = MsgBox("Wollen Sie die Datei " & ThisWorkbook.name & _
18:                       " als Add-In installieren?", _
19:           vbQuestion + vbYesNo)
20:        If frage = 6 Then
21:           If Workbooks.Count = 0 Then n = True
22:              If n Then
23:                 Workbooks.Add
24:                 merk = ActiveWorkbook.name
25:              End If
26:              AddIns.Add FileName:=ThisWorkbook.FullName
27:              AddIns(name).Installed = True
```

AGARD2Excel
Die Datei C:\agard2xl.xla wurde erfolgreich als Add-In AGARD2Excel registriert. Sie finden AGARD2Excel in der Liste des Add-Ins Manager unter dem Menü-Eintrag [Extras] -> [Add-Ins...] wieder.
OK

Abb. A.15.: Erfolgreiche Registrierung.

```
28:
29:       ' Das Add-In wurde registriert. Der Benutzer bekommt
30:       ' eine Erfolgsmeldung.
31:       AddInTitle = GetTitle(ThisWorkbook)
32:
33:       Msg = "Die Datei " & ThisWorkbook.FullName & _
34:             " wurde erfolgreich als Add-In " & AddInTitle & _
35:             " registriert." & " Sie finden " & AddInTitle & _
36:             " in der Liste des Add-Ins Manager" & _
37:             " unter dem Menü-Eintrag [Extras] -> [Add-Ins...] wieder."
38:
39:       MsgBox Msg, vbInformation, AddInTitle
40:
41:               If n Then Workbooks(merk).Close False
42:         End If
43:      End If
44:  End Sub
```

Die Funktion *GetTitle(wb)* liefert den Titel eines Add-Ins, indem sie in einer Schleife alle Add-In Einträge durchgeht und auf Namensgleichheit mit der übergegebenen Arbeitsmappe überprüft.

```
1:  '*********************************************************************
2:  '* Funktion zur Rückgabe des Titels eines Add-Ins
3:  '* Parameter: Arbeitsmappe wb als Variant
4:  '* Rückgabewert: Titel des Add-In als Zeichenkette
5:  '*********************************************************************
6:  Function GetTitle(wb) As String
7:      Dim Item As AddIn
8:      GetTitle = ""
9:      For Each Item In AddIns
10:          If Item.name = wb.name Then
11:              GetTitle = Item.Title
12:          End If
13:      Next Item
14:  End Function
```

Wie am Anfang des Abschnitts erwähnt, führt das Schließen einer Arbeitsmappe zum Aufruf der Prozedur *Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)*. AGARD2EXCEL überprüft in dieser Prozedur zunächst, ob etwaige Änderungen (z.B. am Quelltext) gespeichert wurden und entfernt anschließend seine eigene Menü- und Symbolleiste. So wird der ursprüngliche Zustand von Excel™ vor dem Laden von AGARD2EXCEL wieder hergestellt.

```
1:  '*****************************************************************
2:  '* Beim Schliessen des AddIns "Agard2xl.xla" wird die angelegte
3:  '* Menü- und Symbolleiste entfernt. Dabei wird überprüft, ob
4:  '* eine veränderte Arbeitsmappe vorher gespeichert wurde und
5:  '* ggf. ein Dialog mit Speicheraufforderung angezeigt.
6:  '*****************************************************************
7:  Private Sub Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)
8:    Dim Msg$, Ans$
9:    ' Überprüfen, ob eine veränderte Arbeitsmappe abgespeichert wurde.
10:   If Not Me.Saved Then
11:     Msg = "Sollen ihre Änderungen in " & Me.name & _
12:           " gespeichert werden?"
13:     Ans = MsgBox(vbQuestion + vbYesNoCancel)
14:     Select Case Ans
15:       Case vbYes
16:         Me.Save
17:       Case vbNo
18:         Me.Saved = True
19:         Exit Sub
20:     End Select
21:   End If
22:   ' Menü und Symbolleiste beim Schliessen von Agard2Excel entfernen.
23:   Call DeleteMenu
24:   Call DeleteToolbar
25: End Sub
```

Die Prozeduren *DeleteMenu()* und *DeleteToolbar()* wurden als Bestandteile des Moduls *Menuleiste* erstellt. Sie werden im nächsten Abschnitt, in der die Programmierung der graphischen Benutzeroberfläche im Mittelpunkt steht, besprochen.

A.6. Graphische Benutzeroberfläche

Die Prozedur *CreateMenu()* wird beim Öffnen von AGARD2EXCEL aus der Prozedur *Workbook_Open()* (siehe Seite 139) aufgerufen. Sie erzeugt die Menüleiste. Dabei wird zunächst überprüft, ob die Menüleiste schon angelegt wurde, was dann vorkommen kann, wenn AGARD2EXCEL mehrmals hintereinander aufgerufen wird. Damit nicht jedes Mal die gleiche Menüleiste erzeugt und das Excel™-Menü überladen wird, erfolgt der Prozedur-Aufruf *DeleteMenu()* in Zeile 13. Sie löscht die Menüs, die den gleichen Namen tragen. In Zeile 33 sieht man, dass die Namensgebung eine Eigenschaft des Menüs ist, die mit *Caption* bezeichnet wird. Der Name muss eindeutig sein, d.h. es dürfen keine unterschiedlichen Menüs mit gleichem Namen angelegt werden. Neben der Namensgebung werden Menüs auch über Identifikationsnummern bestimmt. Als nächstes wird die Positionierung des Menüs festgelegt. Sie soll vor dem Hilfemenü erscheinen (Zeilen 26–29). Unter Excel™ wird das Hilfemenü über die Nummer „30010“ identifiziert (Zeile 17). Falls kein Hilfemenü vorhanden ist, soll das AGARD2EXCEL-Menü an das Ende der Menüleiste angefügt werden (Zeilen 19–24).

Das neu erzeugte Menü trägt die Bezeichnung „A&gard2Excel“ (Zeile 33). Mit dem Kaufmännischem Und „&“ vor einem Buchstaben wird angezeigt, dass dieser Menüeintrag über die Tastenkombination ALT+Buchstabe (in unserem Fall ALT+G) auf-

gerufen werden kann. In der Menüleiste wird der jeweilige Buchstabe unterstrichen, „A&gard2Excel“ erscheint als „Agard2Excel“ in der Menüleiste (siehe Abb. A.2).

Nach und nach werden nun die einzelnen Menüeinträge mit dem Methodenaufruf *Controls.Add(Type:=msoControlPopup)* und Untermenüeinträge mit dem Methodenaufruf *Controls.Add(Type:=msoControlButton)* angehängt. Durch Setzen der Eigenschaften über *With MenuItem ... End With* für Menüeinträge bzw. *With SubMenuItem ... End With* für Untermenüeinträge wird die Anzeige und das Verhalten der Menüeinträge festgelegt. Die Namensgebung für den Menüeintrag erfolgt über die Eigenschaft *Caption*. Mit *ToolTipText* können zu allen Menüeinträgen Tooltips erzeugt werden (also kleine Hilfetexte, die über dem Menüeintrag beim Verweilen mit der Maus angezeigt werden), die dem Benutzer die Funktion des Menüeintrags anzeigen.

Die Eigenschaft *FaceId* legt das Icon, also ein graphisches Symbol, fest, dass dem Menüeintrag vorangestellt wird. Excel™ besitzt eine große interne Sammlung dieser Icons[2]. Wichtig ist die Eigenschaft *OnAction*. Sie legt fest, welche Prozedur bei Aktivierung des Menüeintrages über einen Mausklick oder einer Tastenkombination ausgeführt werden soll. In den Zeilen 35 bis 49 wird so der erste Menüeintrag erzeugt, der bei einer Aktion eine neue Arbeitsmappe für einen Probanden anlegt. Der restliche Quelltext (Zeilen 50 bis 110) zur Erzeugung weiterer Menüeinträge ist übersichtshalber nicht dargestellt, jedoch ist die vollständige Prozedur *CreateMenu()* auf der Seite 159 als Bestandteil des Moduls *Menuleiste* abgedruckt.

```
 1:  '*****************************************************************
 2:  '* Prozedur zum Anlegen einer Menuleiste.
 3:  '* Der neue Menüeintrag wird vor dem Hilfe-Menü plaziert.
 4:  '*****************************************************************
 5:  Sub CreateMenu()
 6:    ' Deklaration der einzelnen Menü-Elemente.
 7:    Dim HelpMenu As CommandBarControl
 8:    Dim NewMenu As CommandBarPopup
 9:    Dim MenuItem As CommandBarControl
10:    Dim SubMenuItem As CommandBarButton
11:
12:    ' Lösche Menü falls schon vorhanden.
13:    Call DeleteMenu
14:
15:    ' Methode zum Auffinden des Hilfemenüs.
16:    ' Das Hilfemenü besitzt die ID Nummer "30010".
17:    Set HelpMenu = CommandBars(1).FindControl(ID:=30010)
18:
19:    ' Falls kein Hilfemenü vorhanden ist, wird das neue
20:    ' Menü an das Ende der Menüleiste angefügt.
21:    If HelpMenu Is Nothing Then
22:      ' Eigenes Menü ans Ende der Menüleiste einfügen.
23:      Set NewMenu = CommandBars(1).Controls _
24:          .Add(Type:=msoControlPopup, Temporary:=True)
25:    Else
26:      ' Eigenes Menü vor Hilfemenü einfügen.
```

[2]Der Autor John Walkenbach bietet auf seiner Homepage `http://j-walk.com/ss/excel/tips/tip67.htm` ein praktisches Add-In *faceids.xla* an, dass alle Icons mit ihren Identifiern anzeigt.

```
 27:      Set NewMenu = CommandBars(1).Controls _
 28:          .Add(Type:=msoControlPopup, Before:=HelpMenu.Index, _
 29:          Temporary:=True)
 30:    End If
 31:
 32:    ' Menü mit Namen versehen.
 33:    NewMenu.Caption = "A&gard2Excel"
 34:
 35:    ' Erster Menüeintrag: Arbeitsmappe
 36:    Set MenuItem = NewMenu.Controls.Add(Type:=msoControlPopup)
 37:    With MenuItem
 38:        .Caption = "&Arbeitsmappe"
 39:    End With
 40:    ' Untermenüeintrag: Arbeitsmappe - Neu erstellen.
 41:    Set SubMenuItem = MenuItem.Controls.Add _
 42:        (Type:=msoControlButton)
 43:    With SubMenuItem
 44:        .Caption = "&Neu erstellen..."
 45:        .TooltipText = "Arbeitsmappen für einzelne " & _
 46:        "Probanden erzeugen."
 47:        .FaceId = 582
 48:        .OnAction = "Mappe_Vp"
 49:    End With
  .
  .
  .
110:  End Sub
```

Die Prozedur *DeleteMenu()* löscht Menüeinträge die den gleichen Bezeichner tragen.

```
1: '*************************************************************
2: '* Prozedur zur Entfernung des Menuleisteneintrages.
3: '*************************************************************
4: Sub DeleteMenu()
5:   On Error Resume Next
6:     CommandBars(1).Controls("Agard2Excel").Delete
7:   On Error GoTo 0
8: End Sub
```

Ähnlich wie bei der Menüleiste erstellt die Prozedur *CreateToolbar()* eine Symbolleiste. Auch hierbei wird zunächst (Zeile 11) über den Prozeduraufruf *DeleteToolbar()* überprüft, ob eine Symbolleiste mit der Bezeichnung „Agard2Excel“ schon vorhanden ist und ggf. diese Symbolleiste gelöscht.

```
 1:  '*****************************************************************
 2:  '* Prozedur zum Anlegen einer Symbolleiste. Dabei wird die neue
 3:  '* Symbolleiste oben in der Hauptsymbolleiste platziert.
 4:  '*****************************************************************
 5:  Sub CreateToolbar()
 6:    Dim Agard2ExcelToolBar As CommandBar
 7:    Dim newButton As CommandBarButton
 8:    Dim name As String
 9:
10:    ' Lösche Menü falls schon vorhanden.
11:    Call DeleteToolbar
12:
```

```
13:    name = "Agard2Excel"
14:    Set Agard2ExcelToolBar = Application.CommandBars.Add(name:=name)
15:
16:    With Agard2ExcelToolBar
17:      .Position = msoBarTop
18:      .Visible = True
19:    End With
20:
21:    ' Symbol: AGARD-Datei - Datei ansehen.
22:    Set newButton = Agard2ExcelToolBar.Controls.Add(Type:=msoControlButton)
23:    With newButton
24:        .Caption = "&Neu erstellen..."
25:        .TooltipText = "Arbeitsmappen für einzelne Probanden erzeugen"
26:        .FaceId = 582
27:        .OnAction = "Mappe_Vp"
28:    End With
.
.
.
77:  End Sub
```

```
1: '*****************************************************************
2: '* Prozedur zur Entfernung der Symbolleiste.
3: '*****************************************************************
4: Sub DeleteToolbar()
5:   If CommandBarExists("Agard2Excel") Then
6:     CommandBars("Agard2Excel").Delete
7:   End If
8: End Sub
```

Die Prozedur *DeleteToolbar()* ruft die Boolesche Funktion *CommandBarExists(name)* auf, die, falls eine Symbolleiste mit dem übergebenen Namen existiert, den Wert „wahr“ ansonsten „falsch“ zurückgibt. Dabei werden über eine Schleife (Zeilennummer 7 - 12) alle Symbolleisteneinträge abgefragt und mit dem übergebenen Namen verglichen.

```
 1: '*****************************************************************
 2: '* Funktion zur Überprüfung, ob eine Symbolleiste existiert.
 3: '* Parameter: name als Variant - Name der Symbolleiste
 4: '*****************************************************************
 5: Function CommandBarExists(name) As Boolean
 6:   Dim cb As CommandBar
 7:   For Each cb In CommandBars
 8:     If UCase(cb.name) = UCase(name) Then
 9:       CommandBarExists = True
10:       Exit Function
11:     End If
12:   Next cb
13:   CommandBarExists = False
14: End Function
```

Der komplette Quelltext des Moduls *MenuLeiste* ist auf Seite 159 abgedruckt. Mit diesen Prozeduren ist die GUI fertig programmiert. Der nachfolgende Abschnitt stellt die Prozeduren vor, die für die Speicherung der Leistungsdaten in Tabellenform erforderlich sind. Diese Tabellen werden in entsprechenden Probandenmappen abgelegt. Das nachfolgende Kapitel erläutert die Struktur der automatisch angelegten Probandenmappen.

Abb. A.16.: Menu für das Erzeugen der Arbeitsmappen.

A.7. Schritt 1: Erzeugung der Probanden-Mappen

Der erste Schritt besteht in dem Anlegen einer Probanden-Mappe (Abb. A.2). Durch Aufruf des Menüitems (Abb. A.16), bzw. über die Toolbar wird die Prozedur *Mappe_Vp()* ausgeführt.

Es erscheint ein Dialogfenster, siehe Abb. A.17, über den der Benutzer den Buchstaben-Code des Probanden eingibt. Der Quelltext zum Anlegen einer Arbeitsmappe steht in der Prozedur.

```
 1:  '*************************************************************
 2:  '* Prozedur zum Anlegen einer Arbeitsmappe für eine
 3:  '* Versuchsperson, die durch einen Großbuchstaben [A-Z]
 4:  '* codiert ist.
 5:  '*************************************************************
 6:  Sub Mappe_Vp()
 7:    Dim Selection$, Prompt$, Title$, Voreinstellung$
 8:    ' Aufforderung festlegen.
 9:    Prompt = "Bitte Versuchsperson (A-Z) eingeben:"
10:    ' Titel festlegen.
11:    Title = "Arbeitsmappe anlegen"
12:    ' Voreinstellung festlegen.
13:    Voreinstellung = "A"
14:    Selection = InputBox(Prompt, Title, Voreinstellung)
15:
16:    ' Ein Dialog wird eröffnet und die Meldung
17:    ' "Es wird keine neue Mappe angelegt."
18:    ' auf dem Bildschirm ausgegeben.
19:    If Selection = "" Then
20:      MsgBox "Es wird keine neue Mappe angelegt!", _
21:      vbInformation, "Abbruch Arbeitsmappe neu"
22:    Else
23:      Mappe_neu Buchstabe:=Selection
24:    End If
25:  End Sub
```

Voreingestellt ist der Buchstabe „A“ (Zeile 13). Bei erfolgreicher Eingabe wird in Zeile 23 die Prozedur *Mappe_neu(Buchstabe$)* mit dem gewählten Buchstaben-Code als Parameter aufgerufen.

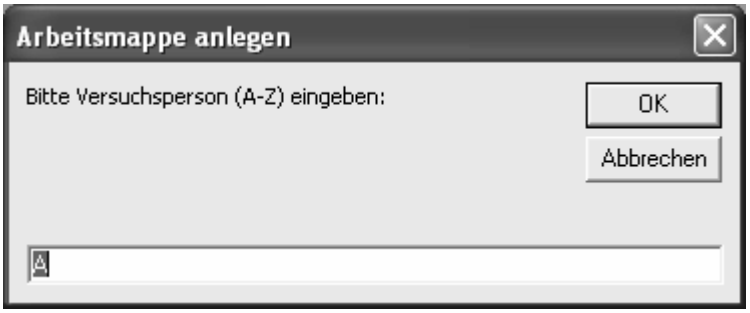


Abb. A.17.: Anlegen von Arbeitsmappen für einzelne Probanden..

Falls das Eingabefeld leer ist, erfolgt ein Abbruch der Prozedur und es erscheint ein Nachrichten-Fenster (Abb. A.18) mit dem Hinweis, dass keine neue Mappe angelegt wurde (siehe Zeilen 19-21).

Abb. A.18.: Falls keine Arbeitsmappe angelegt wird, terminiert das Modul mit einem Dialogfenster unter Hinweis, dass keine neue Mappe angelegt wurde.

Das Modul *Optionen* speichert alle konstanten Eingaben eines Benutzers. In diesem Modul wird u.a. die gewünschte Anzahl an Tabellenblättern, die der Anzahl an Subtests aus der AGARD-STRES-BATTERY entspricht, angegeben. In der Zeile 31 wird die öffentliche Konstante *ANZAHL_BLATT* mit der Zahl 6 initialisiert. Weiterhin kann der Benutzer AGARD2EXCEL so anpassen, dass die Anzahl an Testdurchläufen, die in einer Studie durchgeführt wurden oder Größe des Kopfteils, das den ersten Teil der Ergebnisdaten bildet, festlegt.

```
 1:  '+---------------------------------------------------------------
 2:  '| Optionsfeld für konstante Einträge
 3:  '+---------------------------------------------------------------
 4:  Option Explicit
 5:
 6:  ' Die AGARD-STRES Battery Leistungsdaten bestehen aus einem Kopfteil,
 7:  ' in dem Institutsangaben vermerkt sind und dem eigentlichen
 8:  ' Ergebnisdaten. Beim Import der Daten in das Excelformat und der
 9:  ' Auswertung der Daten wird der Begin der Ergebnisdaten durch die
10:  ' Konstante "DATEN_START" festgelegt.
11:  Public Const DATEN_START = 10
12:
13:  ' Die Konstante Groesse_Tabelle gibt an, wieviele Testdurchläufe in
14:  ' der Tabelle als Diagramm dargestellt werden sollen.
```

```
15:  ' Für die Phase 1 wurden 59 Testdurchläufe durchgeführt
16:  Public Const ANZAHL_TEST = 59
17:
18:  ' Der Wert der Konstanten wird auf 3 gesetzt.
19:  ' Dies ist notwendig, da die Tabelleneinträge erst bei 3 starten
20:  ' sollen.
21:  Public Const TABELLEN_START = 3
22:
23:  ' Die Gesamtgröße der Tabelle ergibt sich aus der Anzahl der
24:  ' Sitzungen und der Tabellenbeschriftung, die hier 3 Zellen umfaßt.
25:  Public Const GROESSE_TABELLE = ANZAHL_TEST + TABELLEN_START
26:
27:  ' Die Anzahl der Blätter einer Arbeitsmappe.
28:  ' Die Zahl "6" entspricht der Anzahl der Leistungstest, die in der
29:  ' Versuchsanordnung zur partiellen Schlafdeprivation verwendet
30:  ' wurden.
31:  Public Const ANZAHL_BLATT = 6
32:
33:  ' Aus dem Erstellungsdatum einer AGARD Rohdatei kann das Erstellungs-
34:  ' datum und die Erstellungszeit ermittelt werden. Die Datumlänge kann
35:  ' auch nur 9 Stellen umfassen (abhängig vom verwendeten Betriebssystem).
36:  Public Const DATUM_LAENGE = 10
37:
38:  Public Const UHRZEIT_LAENGE = 9
```

Damit beim Anlegen einer neuen Arbeitsmappe die Voreinstellungen des jeweiligen Benutzer nicht verändert werden, besteht die erste Anweisung innerhalb der Prozedur in der Definition einer temporären Variablen *temp*, die die Standardanzahl der Tabellenblätter zwischenspeichert. Dies ist eine Eigenschaft der Anwendung und kann über *SheetsInNewWorkbook* abgefragt werden. Die Befehle für diesen Schritt sind in den Zeilen 9-15 abgedruckt.

Die Konstante *ANZAHL_BLATT* wird in der Prozedur *Mappe_neu(Buchstabe$)* abgefragt und der Eigenschaft *SheetsInNewWorkbook* zugewiesen (Zeile 16). Danach wird eine neue Arbeitsmappe durch das Kommando *Workbooks.Add* angelegt (Zeile 20). Diese Arbeitsmappe besitzt entsprechend der geänderten Voreinstellung nun 6 Tabellenblätter, die nach der Excel-Namenkonvention mit *Tabelle1* bis *Tabelle6* benannt sind und über ihren Namen referenziert werden. Entsprechend unseren verwendeten AGARD-STRES-BATTERY Subtests werden diese Tabellenblätter umbenannt („GRT Tabelle“, „MST Tabelle“, „UTT Tabelle“, „DUT Tabelle“, „SRT Tabelle“, „TLX Tabelle“) und sukzessiv aufgerufen. Dies geschieht durch den *Select*-Befehl (Zeile 23), dem dann ein eigener Prozeduraufruf folgt, z.B. *Blatt_GRT*. Diese Prozeduraufrufe erzeugen die eigentlichen Tabellen, die eine unterschiedliche Spaltenanzahl und -beschriftung aufweisen. Der Quelltext für die Tabellenerzeugung findet sich im *Modul Tabellen* auf Seite 165.

```
 1:  '*************************************************************
 2:  '* Prozedur erstellt eine neue Arbeitsmappe mit einer festen
 3:  '* Anzahl an Blättern. Diese Blätter werden entsprechend den
 4:  '* AGARD-STRES Battery Aufgaben umbenannt.
 5:  '* Parameter: Buchstaben als Zeichenkette - bezeichnet die je-
 6:  '*                                        weilige Versuchsperson.
 7:  '*************************************************************
```

```
 8:  Sub Mappe_neu(Buchstabe$)
 9:    Dim Ergebnis$, temp%, Pfadlänge%
10:
11:    ' Die Voreinstellung der Anzahl der Blätter einer Arbeitsmappe
12:    ' wird in temp zwischengespeichert.
13:    ' Die Voreinstellung der jeweiligen Excelumgebung verschiedener
14:    ' Benutzer sollte nicht verändert werden.
15:    temp = Application.SheetsInNewWorkbook
16:    Application.SheetsInNewWorkbook = ANZAHL_BLATT
17:
18:    ' Die Arbeitsmappe mit der gewählten Anzahl an Blättern wird
19:    ' geöffnet und die einzelnen Blätter umbenannt.
20:    Workbooks.Add
21:      ' Satzverifikation (Grammatical Reasoning Task, GRT)
22:      Sheets("Tabelle1").name = "GRT Tabelle"
23:      Sheets("GRT Tabelle").Select: Blatt_GRT
24:
25:      ' Gedächtnissuche (Memory Search Task, MST)
26:      Sheets("Tabelle2").name = "MST Tabelle"
27:      Sheets("MST Tabelle").Select: Blatt_MST
28:
29:      ' Nachführen (Unstable Tracking Test, UTT)
30:      Sheets("Tabelle3").name = "UTT Tabelle"
31:      Sheets("UTT Tabelle").Select: Blatt_UTT
32:
33:      ' Doppelaufgabe (Dual Task, DUT)
34:      Sheets("Tabelle4").name = "DUT Tabelle"
35:      Sheets("DUT Tabelle").Select: Blatt_DUT
36:
37:      ' Reaktionsaufgabe (Single Reaction Test, SRT)
38:      Sheets("Tabelle5").name = "SRT Tabelle"
39:      Sheets("SRT Tabelle").Select: Blatt_SRT
40:
41:      ' NASA-Taskload-Index (TLX)
42:      Sheets("Tabelle6").name = "TLX Tabelle"
43:      Sheets("TLX Tabelle").Select: Blatt_TLX
44:
45:    ' Der ursprüngliche Wert wird wieder eingestellt.
46:    Application.SheetsInNewWorkbook = temp
47:
48:    ' Die neu erstellte Arbeitsmappe wird so z.B. unter "VP_A.xls"
49:    ' gespeichert.
50:    Ergebnis = Application.GetSaveAsFilename( _
51:               InitialFilename:="VP_" & Buchstabe & ".xls", _
52:               FileFilter:="Exceldateien (*.xls), *.xls")
53:
54:    ' Es wurde keine Mappe erstellt.
55:    If Ergebnis = Null Then Exit Sub
56:
57:    ' Die Datei wird gespeichert.
58:    ActiveWorkbook.SaveAs FileName:=Ergebnis
59:  End Sub
```

Durch diese Subtest-abhängigen Prozeduraufrufe werden unterschiedliche Tabellen in den Tabellenblättern generiert (Abb. A.19).

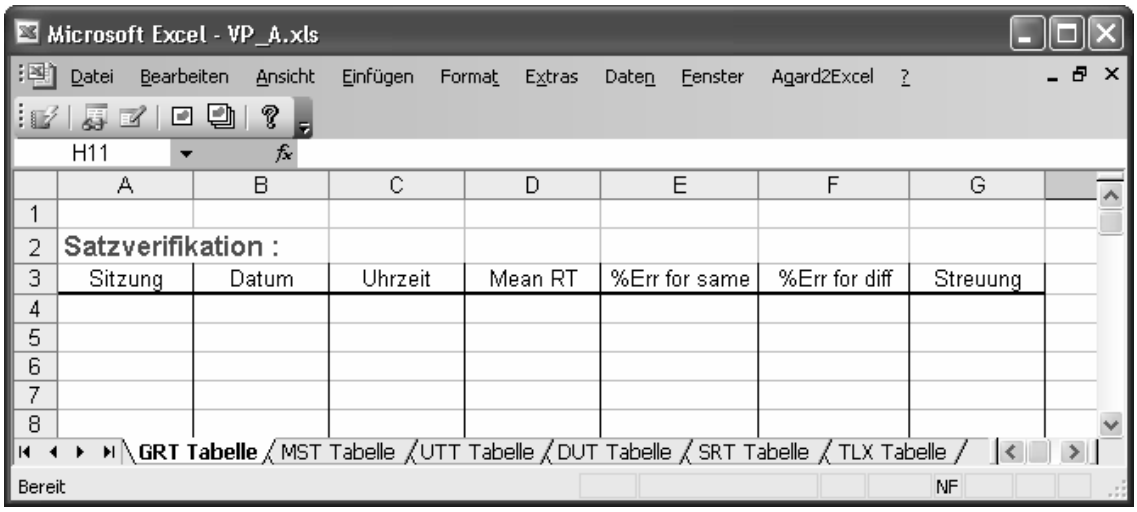

Microsoft Excel - VP_A.xls
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster Agard2Excel ?
H11
A B C D E F G
Satzverifikation :
Sitzung Datum Uhrzeit Mean RT %Err for same %Err for diff Streuung
GRT Tabelle MST Tabelle UTT Tabelle DUT Tabelle SRT Tabelle TLX Tabelle
Bereit
NF

Abb. A.19.: Entsprechend dem Eintrag ANZAHL_BLATT aus dem Modul *Optionen* auf Seite 147 werden 6 Tabellenblätter generiert, die gemäß den verwendeten Subtests aus der AGARD-STRES-Battery umbenannt werden.

Am Ende werden die Voreinstellungen der Tabellenblätter-Anzahl aus der temporär angelegten Variablen wieder hergestellt und die neu erzeugte Arbeitsmappe unter einem Namen abgespeichert. Dabei muss der Name der Namensgebungskonvention „VP_*BuchstabeCode*.xls“ entsprechen (Abb. A.20). Wieso wir diese Namenskonvention verlangen, wird in den nächsten Kapiteln zur Prozessierung der Leistungsdaten auf Seite 150 deutlich.

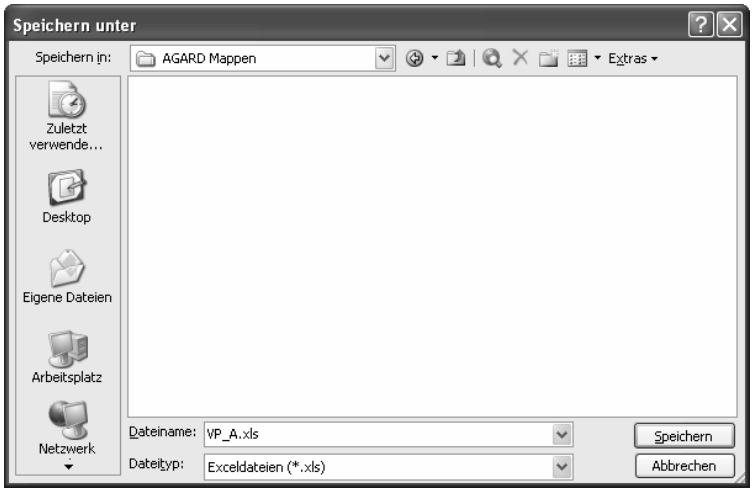


Abb. A.20.: Speichern von Arbeitsmappen für einzelne Probanden.

A.8. Schritt 2: Prozessieren der Leistungsdaten

Die Funktionalität von AGARD2EXCEL erschließt sich am schnellsten, wenn wir ausgehend von einzelnen Ergebnisdaten der AGARD-STRES-Battery den Weg bis zur statistischen Auswertung nachvollziehen. Daher werden zunächst die Datenstruktur und die Namenskonvention der AGARD-STRES-Battery Ergebnisdaten besprochen. In Abhängigkeit von dem durchgeführten Subtest werden während einer Sitzung an der Batterie

unterschiedliche Ergebnisdaten generiert, die mit Hilfe von unterschiedlichen Auswerteroutinen prozessiert werden. Das Resultat wird danach in die Arbeitsmappen der einzelnen Probanden eingetragen und steht so für eine Visualisierung als Diagramm zur Verfügung.

A.8.1. Namenskonvention und Struktur der Ergebnisdaten

Während der Testdurchläufe an der AGARD-STRES-Battery werden die Ergebnisse der Leistungstests als Textdateien auf der Festplatte abgelegt. Dabei erfolgt die Abspeicherung der Daten unter den festgelegten Pfaden mit folgender Datei-Benennung:

∗GRT$$??.dat	„Satzverifikation“
∗MST$$??.dat	„Gedächtnissuche“
∗UTT$$??.dat	„Instabiles Tracking“
∗DUT$$??.dat	„Doppelaufgabe“
∗SRT$$??.dat	„Dinges“
∗TLX$$??.dat	„NASA Task-Load-Rating“

Dabei bedeutet:

∗	: Buchstabencode für Versuchsperson
$$	: Code für Training („TR“) oder Experiment („EX“)
??	: Zwei-stelliger Zähler für jeweilige Session

In der Datei „CGRTEX08.dat“ sind entsprechend der Notation die Ergebnisdaten der Versuchsperson „C“ des Leistungstest „Satzverifikation“ aus dem „Experimentaldurchgang“ und zwar aus der „achten Session“ abgespeichert. Diese ASCII-Datei kann mit jedem herkömmlichen Textverarbeitungsprogramm (z.B. WordPad unter Windows) geöffnet werden.

Man sieht in der Abbildung A.21, dass die Datei aus zwei verschiedenen Teilen besteht. In der Zeile 1 bis 8 ist mit dem sog. Kopfteil (engl. header) der erste Teil der Datei aufgelistet. Hier werden Informationen zum verwendeten Programm gespeichert. Zeile 1 gibt an, dass das Programm mit ERTS V3.17 erstellt wurde. In der Zeile 2 steht der Name des Lizenznehmers. Zeile 3 führt an, welcher AGARD-Subtest durchgeführt wurde. Zeile 4 nennt das Datum, Zeile 5 die Uhrzeit. Die beiden letzten Zeilen 6 und 7 geben an, wo die erzeugte Datei abgelegt wurde und unter welcher Monitorauflösung der Proband die Sitzung durchgeführt hat. In Zeile 8 schließt sich der zweite Teil der Datei, der sog. Körper (engl. body) an. Hier stehen die Werte, wie Reaktionszeit und Auswahl des Probanden, die während des Leistungstest ermittelt wurden. Die Struktur des Textkörpers ist variabel und hängt von der Art des durchgeführten AGARD-Subtest und natürlich der Leistung des Probanden ab.

```
1: ;   ERTS      : V3.17 ==============================================
2: ;   Lizenz    : DLR-Köln, Institut für Luft- und Raumfahrt, Medizin
3: ;   Sitzung   : AGARD-Subtest #6: GRAMMATICAL REASONING
4: ;   Datum     : Dienstag, den 26. November 1996
5: ;   Zeit      : 18:01:26
6: ;   Aufruf    : /EXQK GrtPSD.exp =c:\PSD\expdaten\CGRTEX08.dat /1 +C08
7: ;   Monitor   : EGA 640x350 (221x166 mm) mit 60.0 Hz
8: ;   ---------------------------------------------------------------------
9:  Sitz-ID  Vp Blk Zeit Spez Trl  F1 Ant  R1     T1    Spez-ID
10: C07    1   1   18.01 25   1    2  1   5491.0  D     T F
11: C07    1   1   18.01 6    2    2  1   4067.6  W     T T
12: C07    1   1   18.01 30   3    2  1   4963.8  D     F T
13: C07    1   1   18.01 31   4    2  1   5970.2  D     F T
14: C07    1   1   18.01 21   5    2  1   4621.8  D     T F
15: C07    1   1   18.01 24   6    2  1   5956.7  D     T F
16: C07    1   1   18.01 4    7    2  1   6846.3  W     F F
17: C07    1   1   18.01 29   8    2  1   7424.9  D     T F
18: C07    1   1   18.01 27   9    2  1   4950.6  D     F T
19: C07    1   1   18.01 7    10   2  1   8041.2  W     F F
20: C07    1   1   18.01 19   11   2  1   5311.6  D     F T
21: C07    1   1   18.01 10   12   2  1   4790.3  W     T T
22: C07    1   1   18.01 23   13   2  1   5386.6  D     F T
23: C07    1   1   18.01 3    14   2  1   7364.7  W     F F
24: C07    1   1   18.01 15   15   2  1   8782.8  W     F F
25: C07    1   1   18.01 1    16   2  1   3482.8  W     T T
26: C07    1   1   18.01 28   17   2  1   5526.1  D     T F
27: C07    1   1   18.01 20   18   2  1   7761.9  D     T F
28: C07    1   1   18.01 12   19   2  1   5528.4  W     F F
29: C07    1   1   18.01 18   20   2  1   8753.9  D     F T
30: C07    1   1   18.01 11   21   2  1   6218.9  W     F F
31: C07    1   1   18.01 14   22   2  1   8306.7  W     T T
32: C07    1   1   18.01 17   23   2  1   6435.9  D     T F
33: C07    1   1   18.01 5    24   2  1   4656.5  W     T T
34: C07    1   1   18.01 9    25   2  1   6695.4  W     T T
35: C07    1   1   18.01 26   26   2  1   4362.2  D     F T
```

Header

Body

Abb. A.21.: Datenstruktur der Ergebnisdatei „CGRTEX08.dat“. Entsprechend der Namenskonvention handelt es sich um die Ergebnisdaten der Versuchsperson „C“. Aufgezeichnet wurden die Ergebnisse des Leistungstests „Satzverifikation“ (GRT). Dabei wurde im „Experimentaldurchgang“ die „achte Session“ durchgeführt. Das Ergebnis steht als Textdatei zur weiteren Auswertung mit AGARD2EXCEL zur Verfügung. Die Textdatei gesteht aus dem sog. Kopfteil (engl. header), in der unterschiedliche deskriptive Angaben zur verwendeten Software, dem Lizenznehmer und Datum der Leistungsprüfung vermerkt sind. Daneben sind der Programmaufruf der unter MD-DOS lauffähigen ERTS-Software und die Monitorauflösung aufgeführt. Im sog. Körper (engl. body) stehen die eigentlichen Ergebnisdaten wie Reaktionszeit und Antwort des Probanden. Außerdem wird die Aufgabenstellung spezifiziert und die Fehlerrate angegeben.

Abb. A.22.: Menu für das Abarbeiten der AGARD Daten.

A.8.2. Datenauswahl

Nachdem im ersten Schritt eine Arbeitsmappe für jeden Probanden erzeugt wurde, wird diese Arbeitsmappe in Excel™ geladen. Über das Menü bzw. die Toolbar wird die Datenverarbeitung gestartet.

Zentrales Modul der Dateneingabe ist das Modul *Sub AgardDateiKonvertieren()*.

Die Abbildung A.23 zeigt in der Statusleiste den Stand der Datenauswertung. So kann der Benutzer sehen, welche Datei gerade abgearbeitet wird und wie viel Prozent der Datenmenge prozessiert wurden.

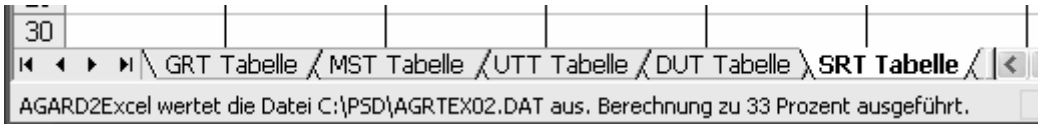


Abb. A.23.: In der Statusleiste wird prozentual die Anzahl der ausgewerteten Daten. So kann der Stand der Auswertung angegeben werden. Diese Information ist gerade bei großen Datenmengen, die sehr zeitintensiv verarbeitet werden, von Nutzen.

Der Dateiauswahldialog (Abb. A.24) wurde so programmiert, dass eine Auswahl mehrerer Dateien und das Setzen eines Filters erlaubt ist. Wenn keine Datei ausgewählt wird, bricht die Prozedur ab. Die Ergebnisvariable erhält in diesem Fall einen Boolschen Wert („Falsch“), der in einer Fall-Abfrage ermittelt wird.

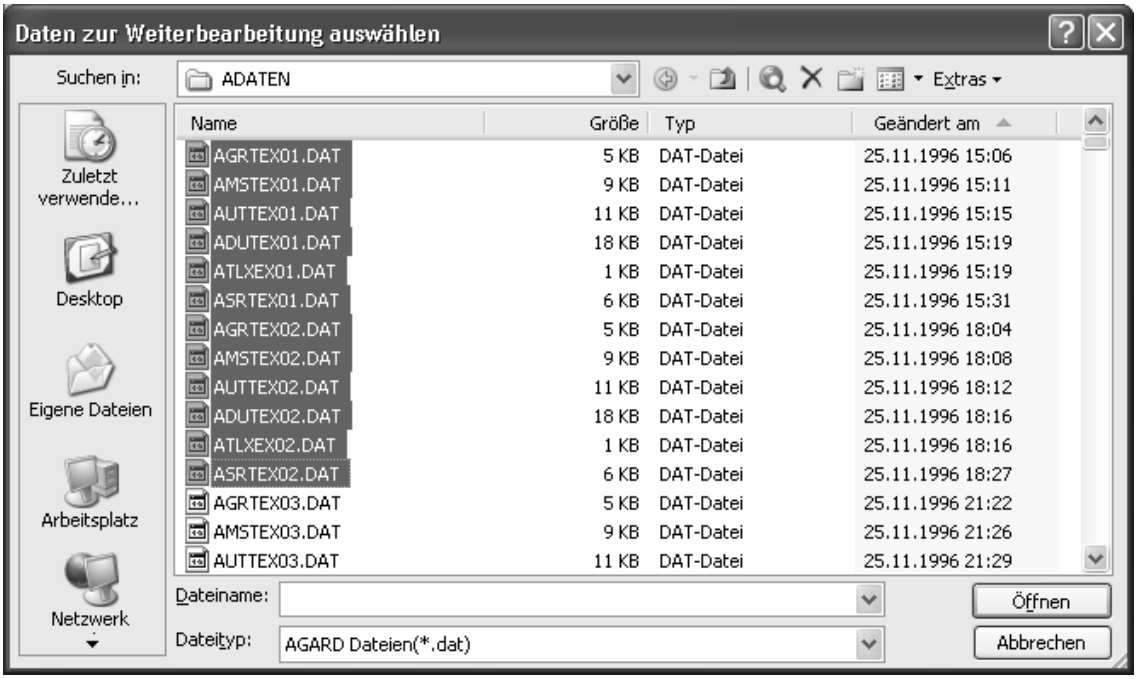


Abb. A.24.: Mit dem Dateiauswahldialog lassen sich problemlos Dateien auswählen. Der Selektor erlaubt die Auswahl mehrerer Dateien. Zudem lässt sich ein Filter (hier: „AGARD Dateien (*.dat),*.dat“) zur Auswahl spezieller Dateien setzen. Erst nach dem Schließen und Beenden mit dem Öffnen-Button stehen ausgewählte Dateien zur Verfügung.

Standardabweichung

Die Standardabweichung, die sich als Quadratwurzel der Varianz ergibt, wird in Agard2Excel als Streuungsmaß der Leistungswerte verwendet. Dazu werden die Abweichungen der einzelnen Werte vom Mittelwert betrachtet. Damit sich negative und positive Abweichungen nicht gegenseitig aufheben, werden die Abweichungen zunächst quadriert und die Quadrate anschließend addiert. Die Summe der quadrierten Abweichungen wird im nächsten Schritt durch die um 1 verringerte Stichprobengröße (*N - 1*) dividiert und die Quadratwurzel gezogen. Die Standardabweichung ergibt sich somit als:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(\mathrm{X}_i - \overline{\mathrm{X}}\right)^2}{N-1}} \tag{A.1}$$

Diese Formel wird in VBA folgendermaßen als Funktion implementiert:

```
 1: '*****************************************************************
 2: '* Funktion zur Berechnung der Standardabweichung
 3: '* Parameter: N als Integer (ganze Zahl) - Stichprobengröße
 4: '* Parameter: Stichproben als Range (Bereich) - Feld mit
 5: '*                                          Stichprobenwerten
 6: '* Parameter: Mittelwert als Single
 7: '*            (Gleitkommazahl mit einfacher Genauigkeit) -
 8: '*           Mittelwert der Stichprobe
 9: '* Rückgabewert: Standardabweichung als Single
10: '*            (Gleitkommazahl mit einfacher Genauigkeit)
```

```
11: '*****************************************************************
12: Function StandardAbweichung(n As Integer, _
13:                              Stichproben As Range, _
14:                              Mittelwert As Single) As Single
15:   ' Schleifenvariable
16:   Dim i As Integer
17:   ' Summe der Quadrate
18:   Dim SummenQuadrat As Single
19:   SummenQuadrat = 0
20:   ' Berechnung der Summenquadrate
21:   For i = 1 To n
22:      SummenQuadrat = SummenQuadrat + _
23:                      (Stichproben(i) - Mittelwert) ^ 2
24:   Next i
25:   ' Bestimmung der Standardabweichung
26:   ' als Quadratwurzel der Varianz
27:   StandardAbweichung = Sqr(SummenQuadrat / (n - 1))
28: End Function
```

A.9. Schritt 3: Darstellung der Ergebnisse als Diagramm

Während die Tabellen mit den Ergebnissen der Einzelsitzungen aufgefüllt werden, kann der Benutzer sich das Ergebnis der Einzelanalysen auch graphisch darstellen, um so einen Trend zu erfassen oder Ausreißer zu lokalisieren. In der Abb.A.25 ist das so generierte Diagramm des Probanden A während des Einfachreaktionstest wiedergegeben.

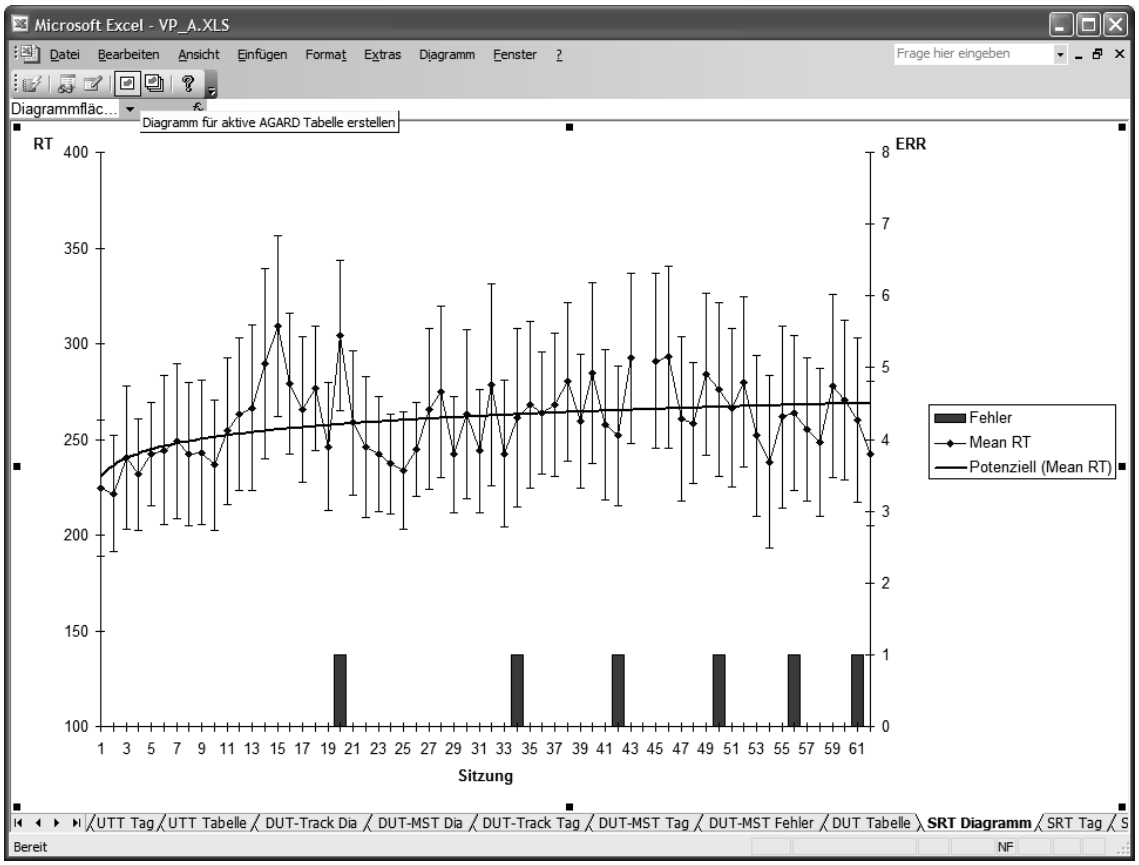


Abb. A.25.: Darstellung der Ergebnisse als Diagramm. Mit dem Diagrammmodul lassen sich problemlos Diagramme generieren.

A.10. Erweiterbarkeit von AGARD2EXCEL

AGARD2EXCEL lässt sich durch seine modulare Programmierung leicht um neue Funktionen erweitern und auf anders strukturierte Textdateien anpassen. Weiterhin sind wichtige Optionen zur Steuerung des Programms im Modul Optionen zusammengefasst.

B. Quelltext - Agard2Excel

B.1. KLASSE DieseArbeitsmappe

```
'+-----------------------------------------------------------------
'| Agard2Excel: ist ein Tool mit dem Leistungsdaten der
'| "AGARD-STRES Battery" ausgewertet werden können.
'| © 2011 Okan Gür
'| Release vom 30.11.2010
'+-----------------------------------------------------------------
Option Explicit

'*****************************************************************
'* Beim Öffnen des AddIns "Agard2xl.xla" erfolgt auf Wunsch
'* eine Registrierung im Add-In Manager als "AGARD2Excel".
'* Danach wird die Menü- und Symbolleiste angelegt.
'*****************************************************************
Private Sub Workbook_Open()
  ' Ist dieses Add-In korrekt registriert worden? Falls nicht,
  ' werden innerhalb der Prozedur "Als_AddIn_Registrieren" die
  ' erforderlichen Schritte, falls vom Benutzer erwünscht,
  ' automatisch durchgeführt.
  Call Als_AddIn_Registrieren

  ' Menü und Symbolleiste beim Öffnen von Agard2Excel erstellen.
  Call CreateMenu
  Call CreateToolbar
End Sub

'*****************************************************************
'* Beim Schliessen des AddIns "Agard2xl.xla" wird die angelegte
'* Menü- und Symbolleiste entfernt. Dabei wird überprüft, ob
'* eine veränderte Arbeitsmappe vorher gespeichert wurde und
'* ggf. ein Dialog mit Speicheraufforderung angezeigt.
'*****************************************************************
Private Sub Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)
  Dim Msg$, Ans$
  ' Überprüfen, ob eine veränderte Arbeitsmappe
  ' abgespeichert wurde.
  If Not Me.Saved Then
    Msg = "Sollen ihre Änderungen in " & Me.name & _
          " gespeichert werden?"
    Ans = MsgBox(vbQuestion + vbYesNoCancel)
    Select Case Ans
      Case vbYes
        Me.Save
      Case vbNo
        Me.Saved = True
        Exit Sub
    End Select
```

```
  End If
  ' Menü und Symbolleiste beim Schliessen
  ' von Agard2Excel entfernen.
  Call DeleteMenu
  Call DeleteToolbar
End Sub

'*************************************************************
'* Prozedur zur automatischen Registrierung eines Add-Ins.
'*************************************************************
Sub Als_AddIn_Registrieren()
   Dim name$, tmp$, merk$, frage%, AddInTitle$, Msg$
   Dim n As Boolean

   ' Falls diese Arbeitsmappe kein Add-In ist,
   ' wird die Prozedur abgebrochen.
   If Not ThisWorkbook.IsAddin Then Exit Sub

   name = ThisWorkbook.BuiltinDocumentProperties(1)
   On Error Resume Next
   tmp = AddIns(name).Installed
   If Err.Number <> 0 Then
   ' Der Benutzer wird gefragt, ob das Add-In
   ' registriert werden soll.
      frage = MsgBox("Wollen Sie die Datei " & ThisWorkbook.name & _
                     " als Add-In installieren?", _
         vbQuestion + vbYesNo)
      If frage = 6 Then
         If Workbooks.Count = 0 Then n = True
            If n Then
               Workbooks.Add
               merk = ActiveWorkbook.name
            End If
            AddIns.Add FileName:=ThisWorkbook.FullName
            AddIns(name).Installed = True

    ' Das Add-In wurde registriert. Der Benutzer bekommt
    ' eine Erfolgsmeldung.
    AddInTitle = GetTitle(ThisWorkbook)

    Msg = "Die Datei " & ThisWorkbook.FullName & _
          " wurde erfolgreich als Add-In " & AddInTitle & _
          " registriert." & " Sie finden " & AddInTitle & _
          " in der Liste des Add-Ins Manager" & _
          " unter dem Menü-Eintrag [Extras] -> [Add-Ins...] wieder."

    MsgBox Msg, vbInformation, AddInTitle

            If n Then Workbooks(merk).Close False
      End If
   End If
End Sub

'*************************************************************
'* Funktion zur Rückgabe des Titels eines Add-Ins
'* Parameter: Arbeitsmappe wb als Variant
'* Rückgabewert: Titel des Add-In als Zeichenkette
'*************************************************************
Function GetTitle(wb) As String
    Dim Item As AddIn
```

```
    GetTitle = ""
    For Each Item In AddIns
        If Item.name = wb.name Then
            GetTitle = Item.Title
        End If
    Next Item
End Function
```

B.2. MODUL MenuLeiste

```
'+---------------------------------------------------------------
'| Erzeugt neue Menüeinträge und verknüpft diese mit Methoden.
'| Diese werden ausgeführt sobald ein Ereignis (über Tastatur
'| oder Maus) ausgelöst wird.
'+---------------------------------------------------------------
Option Explicit
'*****************************************************************
'* Prozedur zum Anlegen einer Menuleiste.
'* Der neue Menüeintrag wird vor dem Hilfe-Menü plaziert.
'*****************************************************************
Sub CreateMenu()
  ' Deklaration der einzelnen Menü-Elemente.
  Dim HelpMenu As CommandBarControl
  Dim NewMenu As CommandBarPopup
  Dim MenuItem As CommandBarControl
  Dim SubMenuItem As CommandBarButton

  ' Lösche Menü falls schon vorhanden.
  Call DeleteMenu

  ' Methode zum Auffinden des Hilfemenüs.
  ' Das Hilfemenü besitzt die ID Nummer "30010".
  Set HelpMenu = CommandBars(1).FindControl(ID:=30010)

  ' Falls kein Hilfemenü vorhanden ist, wird das neue
  ' Menü an das Ende der Menüleiste angefügt.
  If HelpMenu Is Nothing Then
    ' Eigenes Menü ans Ende der Menüleiste einfügen.
    Set NewMenu = CommandBars(1).Controls _
        .Add(Type:=msoControlPopup, Temporary:=True)
  Else
    ' Eigenes Menü vor Hilfemenü einfügen.
    Set NewMenu = CommandBars(1).Controls _
        .Add(Type:=msoControlPopup, Before:=HelpMenu.Index, _
        Temporary:=True)
  End If

  ' Menü mit Namen versehen.
  NewMenu.Caption = "A&gard2Excel"

  ' Erster Menüeintrag: Arbeitsmappe
  Set MenuItem = NewMenu.Controls.Add(Type:=msoControlPopup)
  With MenuItem
      .Caption = "&Arbeitsmappe"
```

```
End With
' Untermenüeintrag: Arbeitsmappe - Neu erstellen.
Set SubMenuItem = MenuItem.Controls.Add _
    (Type:=msoControlButton)
With SubMenuItem
    .Caption = "&Neu erstellen..."
    .TooltipText = "Arbeitsmappen für einzelne " & _
    "Probanden erzeugen."
    .FaceId = 582
    .OnAction = "Mappe_Vp"
End With

' Zweiter Menüeintrag: AGARD-Datei.
Set MenuItem = NewMenu.Controls.Add(Type:=msoControlPopup)
With MenuItem
    .Caption = "A&GARD-Datei"
    .BeginGroup = True
End With

' Untermenüeintrag: AGARD-Datei - Datei ansehen.
Set SubMenuItem = MenuItem. _
Controls.Add(Type:=msoControlButton)
With SubMenuItem
    .Caption = "&Datei ansehen..."
    .FaceId = 2556
    .OnAction = "Dateiladen"
End With

' Untermenüeintrag: AGARD-Datei - Datei(en) bearbeiten.
Set SubMenuItem = MenuItem. _
Controls.Add(Type:=msoControlButton)
With SubMenuItem
    .Caption = "D&atei(en) bearbeiten..."
    .FaceId = 162
    .OnAction = "AgardDateiKonvertieren"
End With

' Dritter Menüeintrag: Diagramm.
Set MenuItem = NewMenu. _
Controls.Add(Type:=msoControlPopup)
With MenuItem
    .Caption = "&Diagramm"
End With

' Untermenüeintrag: Diagramm - Einzeln.
Set SubMenuItem = MenuItem. _
Controls.Add(Type:=msoControlButton)
With SubMenuItem
    .Caption = "Einzeln"
    .FaceId = 704
    .OnAction = "Diagramm_erstellen"
End With

' Untermenüeintrag: Diagramm - Alle.
Set SubMenuItem = MenuItem. _
Controls.Add(Type:=msoControlButton)
With SubMenuItem
    .Caption = "Alle"
    .FaceId = 703
    .OnAction = "Diagramm_alle"
```

```
  End With

  ' Vierter Menüeintrag: Info.
  Set MenuItem = NewMenu. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With MenuItem
      .Caption = "&Info"
      .FaceId = 926
      .BeginGroup = True
      .OnAction = "Info_zeigen"
  End With
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Anlegen einer Symbolleiste. Dabei wird die neue
'* Symbolleiste oben in der Hauptsymbolleiste plaziert.
'*****************************************************************
Sub CreateToolbar()
  Dim Agard2ExcelToolBar As CommandBar
  Dim newButton As CommandBarButton
  Dim name As String

  ' Lösche Menü falls schon vorhanden.
  Call DeleteToolbar

  name = "Agard2Excel"
  Set Agard2ExcelToolBar = Application. _
  CommandBars.Add(name:=name)

  With Agard2ExcelToolBar
    .Position = msoBarTop
    .Visible = True
  End With

  ' Symbol: AGARD-Datei - Arbeitsmappen erzeugen.
  Set newButton = Agard2ExcelToolBar. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With newButton
      .Caption = "&Neu erstellen..."
      .TooltipText = "Arbeitsmappen für einzelne Probanden erzeugen"
      .FaceId = 582
      .OnAction = "Mappe_Vp"
  End With

  ' Symbol: AGARD-Datei - Datei ansehen.
  Set newButton = Agard2ExcelToolBar. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With newButton
    .Caption = "&Datei ansehen..."
    .TooltipText = "AGARD &Datei ansehen..."
    .FaceId = 2556
    .BeginGroup = True
    .OnAction = "Dateiladen"
  End With

  ' Symbol: AGARD-Datei - Datei(en) bearbeiten.
  Set newButton = Agard2ExcelToolBar. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With newButton
      .Caption = "D&atei(en) bearbeiten..."
```

```
      .TooltipText = "AGARD D&atei(en) bearbeiten..."
      .FaceId = 162
      .OnAction = "AgardDateiKonvertieren"
  End With

  ' Symbol: Diagramm - Einzeln.
  Set newButton = Agard2ExcelToolBar. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With newButton
      .Caption = "Einzeln"
      .TooltipText = "Diagramm für aktive AGARD Tabelle erstellen"
      .FaceId = 704
      .BeginGroup = True
      .OnAction = "Diagramm_erstellen"
  End With

  ' Symbol: Diagramm - Alle.
  Set newButton = Agard2ExcelToolBar. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With newButton
      .Caption = "Alle"
      .TooltipText = "Diagramm für alle AGARD Tabellen erstellen"
      .FaceId = 703
      .OnAction = "Diagramm_alle"
  End With

  ' Symbol: Info.
  Set newButton = Agard2ExcelToolBar. _
  Controls.Add(Type:=msoControlButton)
  With newButton
      .Caption = "&Info"
      .TooltipText = "&Info zeigen"
      .FaceId = 926
      .BeginGroup = True
      .OnAction = "Info_zeigen"
  End With
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Entfernung des Menuleisteneintrages.
'*****************************************************************
Sub DeleteMenu()
  On Error Resume Next
    CommandBars(1).Controls("Agard2Excel").Delete
  On Error GoTo 0
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Entfernung der Symbolleiste.
'*****************************************************************
Sub DeleteToolbar()
  If CommandBarExists("Agard2Excel") Then
    CommandBars("Agard2Excel").Delete
  End If
End Sub

'*****************************************************************
'* Funktion zur Überprüfung, ob eine Symbolleiste existiert.
'* Parameter: name als Variant - Name der Symbolleiste
'*****************************************************************
```

```
Function CommandBarExists(name) As Boolean
  Dim cb As CommandBar
  For Each cb In CommandBars
    If UCase(cb.name) = UCase(name) Then
      CommandBarExists = True
      Exit Function
    End If
  Next cb
  CommandBarExists = False
End Function
```

B.3. MODUL Optionen

```
'+---------------------------------------------------------------
'| Optionsfeld für konstante Einträge
'+---------------------------------------------------------------
Option Explicit

' Die AGARD-STRES Battery Leistungsdaten bestehen aus einem Kopfteil,
' in dem Institutsangaben vermerkt sind und dem eigentlichen
' Ergebnisdaten. Beim Import der Daten in das Excelformat und der
' Auswertung der Daten wird der Begin der Ergebnisdaten durch die
' Konstante "DATEN_START" festgelegt.
Public Const DATEN_START = 10

' Die Konstante Groesse_Tabelle gibt an, wieviele Testdurchläufe in
' der Tabelle als Diagramm dargestellt werden sollen.
' Für die Phase 1 wurden 59 Testdurchläufe durchgeführt
Public Const ANZAHL_TEST = 59

' Der Wert der Konstanten wird auf 3 gesetzt.
' Dies ist notwendig, da die Tabelleneinträge erst bei 3 starten
' sollen.
Public Const TABELLEN_START = 3

' Die Gesamtgröße der Tabelle ergibt sich aus der Anzahl der
' Sitzungen und der Tabellenbeschriftung, die hier 3 Zellen umfaßt.
Public Const GROESSE_TABELLE = ANZAHL_TEST + TABELLEN_START

' Die Anzahl der Blätter einer Arbeitsmappe.
' Die Zahl "6" entspricht der Anzahl der Leistungstest, die in der
' Versuchsanordnung zur partiellen Schlafdeprivation verwendet
' wurden.
Public Const ANZAHL_BLATT = 6

' Aus dem Erstellungsdatum einer AGARD Rohdatei kann das Erstellungs-
' datum und die Erstellungszeit ermittelt werden. Die Datumlänge kann
' auch nur 9 Stellen umfassen (abhängig vom verwendeten Betriebssystem).
Public Const DATUM_LAENGE = 10

Public Const UHRZEIT_LAENGE = 9
```

B.4. MODUL Mappe

```
'+----------------------------------------------------------------
'| Erstellt eine neue Arbeitsmappe mit festvorgegebenem
'| Dateinamen.
'| Dateinamen sind für die richtige Dateiabfrage eminent wichtig,
'| da über sie die gesamte Steuerung der Dateneingabe erfolgt.
'+----------------------------------------------------------------

Option Explicit
'*****************************************************************
'* Prozedur zum Anlegen einer Arbeitsmappe für eine
'* Versuchsperson, die durch einen Großbuchstaben [A-Z]
'* codiert ist.
'*****************************************************************
Sub Mappe_Vp()
  Dim Selection$, Prompt$, Title$, Voreinstellung$
  ' Aufforderung festlegen.
  Prompt = "Bitte Versuchsperson (A-Z) eingeben:"
  ' Titel festlegen.
  Title = "Arbeitsmappe anlegen"
  ' Voreinstellung festlegen.
  Voreinstellung = "A"
  Selection = InputBox(Prompt, Title, Voreinstellung)

  ' Ein Dialog wird eröffnet und die Meldung
  ' "Es wird keine neue Mappe angelegt."
  ' auf dem Bildschirm ausgegeben.
  If Selection = "" Then
    MsgBox "Es wird keine neue Mappe angelegt!", _
    vbInformation, "Abbruch Arbeitsmappe neu"
  Else
    Mappe_neu Buchstabe:=Selection
  End If
End Sub
'*****************************************************************
'* Prozedur erstellt eine neue Arbeitsmappe mit einer festen
'* Anzahl an Blättern. Diese Blätter werden entsprechend den
'* AGARD-STRES Battery Aufgaben umbenannt.
'* Parameter: Buchstaben als Zeichenkette - bezeichnet die je-
'*                                          weilige Versuchsperson.
'*****************************************************************
Sub Mappe_neu(Buchstabe$)
  Dim Ergebnis$, temp%, Pfadlänge%

  ' Die Voreinstellung der Anzahl der Blätter einer Arbeitsmappe
  ' wird in temp zwischengespeichert.
  ' Die Voreinstellung der jeweiligen Excelumgebung verschiedener
  ' Benutzer sollte nicht verändert werden.
  temp = Application.SheetsInNewWorkbook
  Application.SheetsInNewWorkbook = ANZAHL_BLATT

  ' Die Arbeitsmappe mit der gewählten Anzahl an Blättern wird
  ' geöffnet und die einzelnen Blätter umbenannt.
  Workbooks.Add
    ' Satzverifikation (Grammatical Reasoning Task, GRT)
    Sheets("Tabelle1").name = "GRT Tabelle"
    Sheets("GRT Tabelle").Select: Blatt_GRT
```

```
    ' Gedächtnissuche (Memory Search Task, MST)
    Sheets("Tabelle2").name = "MST Tabelle"
    Sheets("MST Tabelle").Select: Blatt_MST

    ' Nachführen (Unstable Tracking Test, UTT)
    Sheets("Tabelle3").name = "UTT Tabelle"
    Sheets("UTT Tabelle").Select: Blatt_UTT

    ' Doppelaufgabe (Dual Task, DUT)
    Sheets("Tabelle4").name = "DUT Tabelle"
    Sheets("DUT Tabelle").Select: Blatt_DUT

    ' Reaktionsaufgabe (Single Reaction Test, SRT)
    Sheets("Tabelle5").name = "SRT Tabelle"
    Sheets("SRT Tabelle").Select: Blatt_SRT

    ' NASA-Taskload-Index (TLX)
    Sheets("Tabelle6").name = "TLX Tabelle"
    Sheets("TLX Tabelle").Select: Blatt_TLX

  ' Der ursprüngliche Wert wird wieder eingestellt.
  Application.SheetsInNewWorkbook = temp

  ' Die neu erstellte Arbeitsmappe wird so z.B. unter "VP_A.xls"
  ' gespeichert.
  Ergebnis = Application.GetSaveAsFilename( _
             InitialFilename:="VP_" & Buchstabe & ".xls", _
             FileFilter:="Exceldateien (*.xls), *.xls")

  ' Es wurde keine Mappe erstellt.
  If Ergebnis = Null Then Exit Sub

  ' Die Datei wird gespeichert.
  ActiveWorkbook.SaveAs FileName:=Ergebnis
End Sub
```

B.5. MODUL Tabellen

```
'+-----------------------------------------------------------------
'| Nachdem eine neue Arbeitsmappe der Form "VP_Buchstabe.xls"
'| angelegt wurde, kann mit der Erstellung der einzelnen Tabellen
'| fortgefahren werden. Dieses Modul legt die Tabellenbeschriftung
'| und -form fest.
'+-----------------------------------------------------------------
Option Explicit

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erzeugung einer Tabelle für die Satzverifikation
'* (Grammatical Reasoning Task, GRT)
'*****************************************************************
Sub Blatt_GRT()
    Range("A2").Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .name = "Arial"
        .Size = 12
```

```
        .ColorIndex = 3
    End With
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Satzverifikation :"

    Columns("E:E").ColumnWidth = 12.5
    Columns("F:F").ColumnWidth = 12
    Range("A" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sitzung"
    Range("B" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Datum"
    Range("C" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Uhrzeit"
    Range("D" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Mean RT"
    Range("E" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "%Err for same"
    Range("F" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "%Err for diff"
    Range("G" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Streuung"
    Gitter Anz_Linien:=1
End Sub
'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erzeugung einer Tabelle für die Gedächtnissuche
'* (Memory Search Task, MST)
'*****************************************************************

Sub Blatt_MST()
    Range("A2").Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .name = "Arial"
        .Size = 12
        .ColorIndex = 3
    End With
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Gedächtnissuche :"

    Range("A" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sitzung"
    Range("B" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Datum"
    Range("C" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Uhrzeit"
    Range("D" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Mean RT"
    Range("E" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "%Err positiv"
    Range("F" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "%Err negativ"
    Range("G" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Streuung"

    Gitter Anz_Linien:=1
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erzeugung einer Tabelle für das Nachführen
'* (Unstable Tracking Test, UTT)
'*****************************************************************
Sub Blatt_UTT()
```

```
    Range("A2").Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .name = "Arial"
        .Size = 12
        .ColorIndex = 3
    End With
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Tracking :"

    Columns("E:E").ColumnWidth = 13.5

    Range("A" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sitzung"
    Range("B" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Datum"
    Range("C" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Uhrzeit"
    Range("D" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RMS error"
    Range("E" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Loss of Control"
    Range("F" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Streuung"
    Gitter Anz_Linien:=3
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erzeugung einer Tabelle für die Doppelaufgabe
'* (Dual Task, DUT)
'*****************************************************************
Sub Blatt_DUT()
    Range("A2").Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .name = "Arial"
        .Size = 12
        .ColorIndex = 3
    End With
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Doppelaufgabe :"

    Columns("E:E").ColumnWidth = 13.5
    Range("A" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sitzung"
    Range("B" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Datum"
    Range("C" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Uhrzeit"
    Range("D" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RMS error"
    Range("E" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Loss of Control"
    Range("F" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "RMS Streu"

    Range("G" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Mean RT"
    Range("H" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "%Err positiv"
    Range("I" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "%Err negativ"
```

```
    Range("J" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "MST Streu"

    Gitter Anz_Linien:=2
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erzeugung einer Tabelle für die Reaktionsaufgabe
'* (Single Reaction Test, SRT)
'*****************************************************************
Sub Blatt_SRT()
Range("A2").Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .name = "Arial"
        .Size = 12
        .ColorIndex = 3
    End With
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Reaktionszeitaufgabe :"

    Range("A" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sitzung"
    Range("B" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Datum"
    Range("C" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Uhrzeit"
    Range("D" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Mean RT"
    Range("E" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Streuung"
    Range("F" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Fehler"
    Range("G" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Lapses"
    Range("H" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Best 10%"
    Gitter Anz_Linien:=4
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erzeugung einer Tabelle für den NASA-Taskload-Index
'* (TLX)
'*****************************************************************
Sub Blatt_TLX()
Range("A2").Select
    With Selection.Font
        .Bold = True
        .name = "Arial"
        .Size = 12
        .ColorIndex = 3
    End With
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Task Load Index :"

    Range("A" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sitzung"
    Range("B" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Datum"
    Range("C" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Uhrzeit"
    Range("D" & TABELLEN_START).Select
```

```
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "GA"
    Range("E" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "KA"
    Range("F" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "ZA"
    Range("G" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "L"
    Range("H" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "A"
    Range("I" & TABELLEN_START).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "F"

    Gitter Anz_Linien:=5
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zeichnet die Tabellenlinien.
'* Die Variable "GROESSE_TABELLE" ist als globale Variable im Modul-
'* blatt 'Diagramme'initialisiert.
'* Mit ihr läßt sich die Spaltenausdehnung der Linien bestimmen.
'* Parameter: Anz_Linien als ganze Zahl - dient der Fallabfrage.
'*            Dieser Parameter bestimmt die Ausdehnung der Tabellen-
'*            linien.
'*****************************************************************
Sub Gitter(Anz_Linien%)

  Eine_Linie Spalten:="A" & TABELLEN_START & ":A" & GROESSE_TABELLE
  Eine_Linie Spalten:="B" & TABELLEN_START & ":B" & GROESSE_TABELLE
  Eine_Linie Spalten:="C" & TABELLEN_START & ":C" & GROESSE_TABELLE
  Eine_Linie Spalten:="D" & TABELLEN_START & ":D" & GROESSE_TABELLE
  Eine_Linie Spalten:="E" & TABELLEN_START & ":E" & GROESSE_TABELLE

  Select Case Anz_Linien
    Case 1
      Unter_Linie Spalten:="A" & TABELLEN_START & ":G" & TABELLEN_START
      Eine_Linie Spalten:="F" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="G" & TABELLEN_START & ":G" & GROESSE_TABELLE
    Case 2
      Unter_Linie Spalten:="A" & TABELLEN_START & ":J" & TABELLEN_START
      Eine_Linie Spalten:="F" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="G" & TABELLEN_START & ":G" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="H" & TABELLEN_START & ":H" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="I" & TABELLEN_START & ":I" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="J" & TABELLEN_START & ":J" & GROESSE_TABELLE
    Case 3
      Unter_Linie Spalten:="A" & TABELLEN_START & ":F" & TABELLEN_START
      Eine_Linie Spalten:="F" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE
    Case 4
      Unter_Linie Spalten:="A" & TABELLEN_START & ":H" & TABELLEN_START
      Eine_Linie Spalten:="F" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="G" & TABELLEN_START & ":G" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="H" & TABELLEN_START & ":H" & GROESSE_TABELLE
    Case 5
      Unter_Linie Spalten:="A" & TABELLEN_START & ":I" & TABELLEN_START
      Eine_Linie Spalten:="F" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="G" & TABELLEN_START & ":G" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="H" & TABELLEN_START & ":H" & GROESSE_TABELLE
      Eine_Linie Spalten:="I" & TABELLEN_START & ":I" & GROESSE_TABELLE
    Case Else
      Exit Sub
```

```
  End Select

  Range("A1").Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zeichnet die Unterlinie der Spalten.
'* Parameter: Spalten als Zeichenkette - dient der Linienweite.
'*****************************************************************
Sub Unter_Linie(Spalten$)
  Range(Spalten).Select
  With Selection
       .HorizontalAlignment = xlCenter
       .VerticalAlignment = xlBottom
       .Orientation = xlHorizontal
  End With

  With Selection.Borders(xlBottom)
       .Weight = xlMedium
       .ColorIndex = xlAutomatic
  End With
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zeichnet eine Linie rechts von der Spalte.
'* Parameter: Spalten als Zeichenkette - dient der Linienposititon.
'*****************************************************************
Sub Eine_Linie(Spalten$)
  Range(Spalten).Select
  With Selection.Borders(xlRight)
       .Weight = xlThin
       .ColorIndex = xlAutomatic
  End With
End Sub
```

B.6. MODUL DatenKonvertierung

```
'+---------------------------------------------------------------
'| Wichtiges Modul für die Auswahl der Rohdaten aus einer Liste
'| von Daten. Konvertiert einzelne Rohdaten in ein Excelblatt.
'+---------------------------------------------------------------
Option Explicit

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Konvertierung und Auswertung der AGARD-STRES
'* Batterie Daten. Die Ergebnisse der Datenauswertung werden in
'* die einzelnen Blätter der Arbeitsmappe der Versuchsperson
'* eingetragen.
'*****************************************************************
Sub AgardDateiKonvertieren()
  Dim Status, Ergebnis, datei_auswahl%
  Dim Datei, berechn_modus, aktual_modus
  ' Laufvariable
  Dim k&

  ' Begin mit der Auswahl der Daten, die verarbeitet werden sollen.
```

```
  Datei = DatenAuswahl

  ' Es wurde keine Datei ausgewählt und die Prozedur abgebrochen.
  If TypeName(Datei) = "Boolean" Then Exit Sub

  On Error GoTo NoWorkingMap
  ' Geschwindigkeitsoptimierung Anfang
  berechn_modus = Application.Calculation
  GoTo continue
NoWorkingMap:
  MsgBox "Fehlende Arbeitsmappe. Bitte legen Sie eine neue " & _
         "Arbeitsmappe an, oder öffnen eine vorhandene Arbeitsmappe", _
         vbOKOnly + vbCritical
  Exit Sub
continue:
  aktual_modus = Application.ScreenUpdating

  ' In der Statusleiste erscheint eine Meldung
  ' über den Fortschritt der jeweiligen Berechnung.
  ' speichern, ob Statusleiste sichtbar
  Status = Application.DisplayStatusBar

  Application.Calculation = xlManual
  Application.ScreenUpdating = False

  ' Statusleiste  anzeigen
  Application.DisplayStatusBar = True

  For k = LBound(Datei) To UBound(Datei)
    ' Fortschritt der Datenauswertung
    ' wird in der Statuszeile angezeigt.
    Application.StatusBar = "AGARD2Excel wertet die Datei " & _
    Datei(k) & " aus. " & "Berechnung zu " & _
    CInt(k / UBound(Datei) * 100) & " Prozent ausgeführt."

    ' die eigentliche Berechnung
    Datei_Bewerten Dateiname:=CStr(Datei(k))
  Next k
  ' Ende Berechnung

  ' Geschwindigkeitsoptimierung Ende
  Application.Calculation = berechn_modus
  Application.ScreenUpdating = aktual_modus

  'Steuerung an Excel zurückgeben
  Application.StatusBar = False
  'alten Zustand wiederherstellen
  Application.DisplayStatusBar = Status
  Exit Sub
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur automatischen Bearbeitung der Daten in Abhängigkeit
'* von dem Dateinamen. So kann aus dem Dateinamen (z.B.: AGRTEX01.DAT)
'* der Proband (Proband = "A"), der durchgeführte Leistungstest
'* (Versuch = "GRT"), die Art der Untersuchung (Art = "EX" für
'* Experiment) und die Sitzung (Sitzung = "01" für erste Sitzung)
'* ermittelt werden.
'* Parameter: Dateiname als Zeichenkette - Name der Datei.
'*****************************************************************
```

```
Sub Datei_Bewerten(Dateiname$)
  Dim Ergebnis$, Versuch$, aktuellerPfad$
  Dim Proband$, Art$, Sitzung$, Datei$

  ' Speichert das Datum der Datei
  Dim zeitangabe$

  Ergebnis = Dateiname
  aktuellerPfad = CurDir()

  ' Wichtige Methode, die angibt, wann die Datei erstellt wurde.
  ' Die Datei muss dabei mit ihrem absolutem Pfad angegeben werden.

  zeitangabe = FileDateTime(Ergebnis)

  ' If ergebnis = False Then Exit Sub
  ' Datei ohne Pfad
  Datei = Right(Ergebnis, 12)
  ' Ausgewählter Test
  Versuch = Mid(Datei, 2, 3)
  ' Code der Vp
  Proband = Mid(Datei, 1, 1)
  ' Training oder Experiment
  Art = Mid(Datei, 5, 2)
  ' Test-Nr.
  Sitzung = Mid(Datei, 7, 2)

  ' Öffnet die Datei und füllt die Tabelle auf
  Select Case Versuch

    Case "GRT"
    GRT_Datei Datei:=Ergebnis
    GRT_Als_TAB Sitzung:=CInt(Sitzung), _
                ArbMap:="VP_" & Proband & ".XLS", _
                Erstellungsdatum:=zeitangabe

    Case "MST"
    MST_Datei Datei:=Ergebnis
    MST_Als_TAB Sitzung:=CInt(Sitzung), _
                ArbMap:="VP_" & Proband & ".XLS", _
                Erstellungsdatum:=zeitangabe

    Case "UTT"
    UTT_Datei Datei:=Ergebnis
    UTT_Als_TAB Sitzung:=CInt(Sitzung), _
                ArbMap:="VP_" & Proband & ".XLS", _
                Erstellungsdatum:=zeitangabe

    Case "DUT"
    DUT_Datei Datei:=Ergebnis
    DUT_Als_TAB Sitzung:=CInt(Sitzung), _
                ArbMap:="VP_" & Proband & ".XLS", _
                Erstellungsdatum:=zeitangabe

    Case "SRT"
    SRT_Datei Datei:=Ergebnis
    SRT_Als_TAB Sitzung:=CInt(Sitzung), _
                ArbMap:="VP_" & Proband & ".XLS", _
                Erstellungsdatum:=zeitangabe
```

```
    Case "TLX"
    TLX_Datei Datei:=Ergebnis
    TLX_Als_TAB Sitzung:=CInt(Sitzung), _
                ArbMap:="VP_" & Proband & ".XLS", _
                Erstellungsdatum:=zeitangabe

    Case Else
    MsgBox "Keine PSD_Datei"
  End Select

  'Ändert das aktuelle Verzeichnis
  'Wird von Excel als Methode geliefert.
  ChDir aktuellerPfad
End Sub

'*****************************************************************
'* Funktion zur Auswahl mehrerer Daten.
'* Rückgabewert: Die Liste der Daten.
'*****************************************************************
Function DatenAuswahl() As Variant
  Dim Filter$, Index%
  Filter = "AGARD Dateien(*.dat),*.dat," & _
           "Alle Dateien (*.*),*.*"
  ' Zeige *.dat als Standardauswahl
  Index = 1
  ' Einzelne oder mehrere Daten über Dialog auswählen
  DatenAuswahl = Application.GetOpenFilename(FileFilter:=Filter, _
                FilterIndex:=Index, _
                Title:="Daten zur Weiterbearbeitung auswählen", _
                ButtonText:="Bearbeiten", _
                MultiSelect:=True)
End Function

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Laden der Datei. Über einen Dateidialog wird die
'* Datei ausgewählt und entsprechend dem Dateinamen in Excel
'* importiert.
'*****************************************************************
Sub Dateiladen()
  Dim Filter$, Index%, Titel$
  Dim Dateiname$, Ergebnis$, Versuch$

  ' Liste der Dateifilter erstellen
  Filter = "AGARD Dateien (*.dat),*.dat," & _
           "Alle Dateien (*.*),*.*"

  ' Zeige *.dat als Standardauswahl
  Index = 1

  Ergebnis = Application.GetOpenFilename(FileFilter:=Filter, _
                Title:="Datei zur Ansicht öffnen")

  ' Es wurde keine Datei ausgewählt
  If TypeName(Ergebnis) = "Boolean" Then Exit Sub
  'If Ergebnis = False Then Exit Sub
  ' MsgBox "Open " & ergebnis
  Dateiname = Right(Ergebnis, 12)
  Versuch = Mid(Dateiname, 2, 3)
  ' Entsprechend dem Versuchsnamen werden die passenden
  ' Prozeduren ausgewählt.
```

```
  Select Case Versuch
    Case "GRT": GRT_Datei Datei:=Ergebnis
    Case "MST": MST_Datei Datei:=Ergebnis
    Case "UTT": UTT_Datei Datei:=Ergebnis
    Case "DUT": DUT_Datei Datei:=Ergebnis
    Case "SRT": SRT_Datei Datei:=Ergebnis
    Case "TLX": TLX_Datei Datei:=Ergebnis
    Case Else: 'MsgBox "Keine AGARD Datei", vbExclamation
  End Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Speichern einer Datei. Es wird ein Dialog zur
'* Eingabe des Dateinamen angezeigt. Die Datei wird als
'* Excel-Datei abgelegt.
'*****************************************************************
Sub Dateispeichern()
  Dim Ergebnis
  Ergebnis = Application.GetSaveAsFilename _
    (FileFilter:="Exceldateien (*.xls), *.xls")
     MsgBox "Speichern unter " & Ergebnis
  If Ergebnis = False Then Exit Sub
  ActiveWorkbook.SaveAs FileName:=Ergebnis
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Schliessen eines aktiven Fensters.
'*****************************************************************
Sub schliesseFenster()
    ActiveWindow.Close SaveChanges:=False
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Importieren einer Satzverifikation Datei
'* (Grammatical Reasoning Task, GRT) für die Konvertierung in
'* eine Excel-Tabelle. Die Weite der Spalten wird explizit in der
'* Variablen "FieldInfo" angegeben.
'* Parameter: Datei als Zeichenkette - der Name der DOS-Datei.
'*****************************************************************
Sub GRT_Datei(ByVal Datei As String)
  Workbooks.OpenText FileName:=Datei, Origin:=xlMSDOS, StartRow:=1, _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array( _
    Array(0, 1), Array(9, 1), Array(13, 1), _
    Array(17, 2), Array(23, 1), Array(28, 1), _
    Array(33, 1), Array(36, 1), Array(40, 1), _
    Array(48, 1), Array(55, 1), Array(57, 1), _
    Array(62, 1))

  PunktZuKomma Spalten:="I:I"
  PunktZuKomma Spalten:="D:D"

  ' die Markierung wird auf die
  ' Zelle A1 gesetzt
  Range("A1").Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Importieren einer Gedächtnissuche Datei
'* (Memory Search Task, MST) für die Konvertierung in
```

```
'* eine Excel-Tabelle. Die Weite der Spalten wird explizit in der
'* Variablen "FieldInfo" angegeben.
'* Parameter: Datei als Zeichenkette - der Name der DOS-Datei.
'*****************************************************************
Sub MST_Datei(ByVal Datei As String)
  Workbooks.OpenText FileName:=Datei, Origin:=xlMSDOS, StartRow:=1, _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array( _
    Array(0, 1), Array(9, 1), Array(13, 1), _
    Array(17, 2), Array(23, 1), Array(27, 1), _
    Array(32, 1), Array(37, 1), Array(40, 1), _
    Array(44, 2), Array(52, 2), Array(59, 1), _
    Array(65, 1))
  PunktZuKomma Spalten:="D:D"
  PunktZuKomma Spalten:="J:J"
  Range("A1").Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Importieren einer Nachführen Datei
'* (Unstable Tracking Test, UTT) für die Konvertierung in
'* eine Excel-Tabelle. Die Weite der Spalten wird explizit in der
'* Variablen "FieldInfo" angegeben.
'* Parameter: Datei als Zeichenkette - der Name der DOS-Datei.
'*****************************************************************
Sub UTT_Datei(ByVal Datei As String)
  Workbooks.OpenText FileName:=Datei, Origin:=xlMSDOS, StartRow:=1, _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array( _
    Array(0, 1), Array(9, 1), Array(13, 1), _
    Array(17, 1), Array(23, 1), Array(34, 1), _
    Array(50, 1))
  PunktZuKomma Spalten:="E:E"
  PunktZuKomma Spalten:="F:F"
  Columns("G:G").Select
  Selection.Insert Shift:=xlToRight
  Columns("F:F").Select
  Selection.TextToColumns Destination:=Range("F1"), _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array(Array(0, 1), Array(8, 1))

  ' die Markierung wird auf die
  ' Zelle A1 gesetzt
  Range("A1").Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Importieren einer Doppelaufgabe Datei
'* (Dual Task, DUT) für die Konvertierung in eine Excel-Tabelle.
'* Die Weite der Spalten wird explizit in der Variablen "FieldInfo"
'* angegeben.
'* Parameter: Datei als Zeichenkette - der Name der DOS-Datei.
'*****************************************************************
Sub DUT_Datei(ByVal Datei As String)
  Dim AnfangZweiteTeilaufgabe%, EndeZweiteTeilaufgabe%

  Workbooks.OpenText FileName:=Datei, Origin:=xlMSDOS, StartRow:=1, _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array( _
    Array(0, 1), Array(9, 1), Array(13, 1), _
```

```
    Array(17, 2), Array(23, 1), Array(32, 2), _
    Array(42, 2), Array(50, 1))
  PunktZuKomma Spalten:="D:D"
  PunktZuKomma Spalten:="E:E"
  PunktZuKomma Spalten:="F:F"
  PunktZuKomma Spalten:="G:G"

  ' Die Variable AnfangZweiteTeilaufgabe gibt an, an welcher
  ' Position in der ersten Spalte die zweite Teilaufgabe
  ' (das Nachführen, UTT) der Doppelaufgabe beginnt. Diese wird
  ' dann neben die erste Aufgabe versetzt.
  AnfangZweiteTeilaufgabe = FindPositionInColumn( _
                            SuchMuster:="Sitz-ID", _
                            Spalte:=1, _
                            StartReihe:=DATEN_START)

  ' Die Variable EndeZweiteTeilaufgabe gibt die Position des
  ' letzten Eintrags in der Spalte "A" an.
  EndeZweiteTeilaufgabe = LastInColumnPosition(Range("A:A"))

  ' Der Bereich zwischen dem "AnfangZweiteTeilaufgabe" und
  ' "EndeZweiteTeilaufgabe", in dem die Ergebnisse des "Nachführen"
  ' gespeichert sind, wird ausgewählt und ausgeschnitten.
  Range("A" & AnfangZweiteTeilaufgabe & _
        ":H" & EndeZweiteTeilaufgabe).Select
  Selection.Cut

  ' Der ausgeschnittene Bereich wird an der Position "J9" wieder
  ' eingefügt.
  Range("J9").Select
  ActiveSheet.Paste
  Columns("F:F").Select

  Selection.Insert Shift:=xlToRight
  Columns("H:H").Select
  Selection.Insert Shift:=xlToRight
  Selection.Insert Shift:=xlToRight
  Columns("E:E").Select
  Selection.TextToColumns Destination:=Range("E1"), _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array(Array(0, 1), Array(2, 1))
  Columns("G:G").Select
  Selection.TextToColumns Destination:=Range("G1"), _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array(Array(0, 1), Array(4, 1), Array(6, 1))

  Range("H9").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "F1"
  Range("I9").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = " Ant"
  Range("J9").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = " R1"

  ' die Markierung wird auf die
  ' Zelle A1 gesetzt
  Range("A1").Select
End Sub

'*************************************************************
'* Prozedur zum Importieren einer Reaktionsaufgabe Datei
```

```
'* (Single Reaction Test, SRT) für die Konvertierung in eine
'* Excel-Tabelle. Die Weite der Spalten wird explizit in der
'* Variablen "FieldInfo" angegeben.
'* Parameter: Datei als Zeichenkette - der Name der DOS-Datei.
'*****************************************************************
Sub SRT_Datei(ByVal Datei As String)
  Workbooks.OpenText FileName:=Datei, _
  Origin:=xlMSDOS, _
  StartRow:=1, _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array( _
    Array(0, 1), Array(9, 1), Array(13, 1), _
    Array(17, 2), Array(23, 1), Array(28, 1), _
    Array(33, 1), Array(36, 1), Array(40, 2), _
    Array(48, 1))
  PunktZuKomma Spalten:="I:I"

  ' die Markierung wird auf die
  ' Zelle A1 gesetzt
  Range("A1").Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Importieren einer subjektiven Schweregrad Datei,
'* NASA-Taskload-Index (TLX) für die Konvertierung in
'* eine Excel-Tabelle. Die Weite der Spalten wird explizit in der
'* Variablen "FieldInfo" angegeben.
'* Parameter: Datei als Zeichenkette - der Name der DOS-Datei.
'*****************************************************************
Sub TLX_Datei(ByVal Datei As String)
  Workbooks.OpenText FileName:=Datei, _
  Origin:=xlMSDOS, StartRow:=1, _
  DataType:=xlFixedWidth, _
  FieldInfo:=Array( _
    Array(0, 1), Array(3, 1), Array(6, 1), _
    Array(8, 1), Array(12, 1), Array(14, 1), _
    Array(18, 1), Array(20, 1), Array(24, 1), _
    Array(26, 1), Array(30, 1), Array(32, 1), _
    Array(36, 1))
  ' die Markierung wird auf die
  ' Zelle A1 gesetzt
  Range("A1").Select
End Sub
'*****************************************************************
'* Prozedur wandelt einen Punkt in ein Komma um.
'*
'* Bestimmte Daten wurden fälschlicherweise als Datum angezeigt.
'* Um diesen Fehler zu beheben wurde die PunktZuKomma Methode
'* eingeführt, die nichts anderes macht als das Vorkommen von dem
'* Zeichen <.> durch <,> in den Spalten zu ersetzen.
'* Parameter: Spalten als Zeichenkette (Übergabe als Wert) -
'*            die Spalte in der Punkte zu Kommas umgewandelt
'*            werden sollen.
'*****************************************************************
Sub PunktZuKomma(ByVal Spalten As String)
   Columns(Spalten).Select
   Selection.Replace What:=".", Replacement:=",", _
   LookAt:=xlPart, SearchOrder:=xlByColumns
End Sub
'*****************************************************************
```

```
'* Funktion zur Bestimmung der Position des letzten Wertes eines
'*                                    Bereiches.
'* Parameter: rngInput als Bereich -  der Bereich kann auch eine
'*                                    Spalte oder Reihe sein.
'*****************************************************************
Function LastInColumnPosition(rngInput As Range) As Integer
 Dim WorkRange As Range
    Dim i As Integer, CellCount As Integer
    Application.Volatile
    Set WorkRange = rngInput.Columns(1).EntireColumn
    Set WorkRange = Intersect(WorkRange.Parent.UsedRange, WorkRange)
    CellCount = WorkRange.Count
    For i = CellCount To 1 Step -1
        If Not IsEmpty(WorkRange(i)) Then
            LastInColumnPosition = i
            Exit Function
        End If
    Next i
End Function

'*****************************************************************
'* Funktion, die ab einem Startpunkt einer Spalte die Position der
'* Zeichenkette <SuchMuster> zurückgibt.
'* Diese Funktion dient dazu,den letzten Eintrag in der Tabelle
'* mit den Rohdateien zu ermitteln.
'* Dies ist z.B. für die Mittelwertberechnung von Bedeutung.
'* Parameter: SuchMuster als Zeichenkette - Zeichenkette, die
'*                                          gesucht werden soll.
'* Parameter: Spalte als Zeichenkette - Spalte in der die Suche
'*                                      durchgeführt wird.
'* Parameter: StartReihe als Zeichenkette - Position, ab der
'*                                          gesucht wird.
'*****************************************************************
Function FindPositionInColumn(SuchMuster$, Spalte%, StartReihe%) _
         As Integer
Dim i As Long
  For i = StartReihe To Rows.Count
    If Cells(i, Spalte).Value = SuchMuster Then
        FindPositionInColumn = i
    Exit Function
    End If
  Next
  FindPositionInColumn = 0
End Function

'*****************************************************************
'* Funktion zur Bestimmung des letzten Wertes eines Bereiches.
'* Parameter: rngInput als Bereich - der Bereich kann auch eine
'*                                   Spalte oder Reihe sein.
'*****************************************************************
Function LastInColumnValue(rngInput As Range)
    Dim WorkRange As Range
    Dim i As Integer, CellCount As Integer
    Application.Volatile
    Set WorkRange = rngInput.Columns(1).EntireColumn
    Set WorkRange = Intersect(WorkRange.Parent.UsedRange, WorkRange)
    CellCount = WorkRange.Count
    For i = CellCount To 1 Step -1
        If Not IsEmpty(WorkRange(i)) Then
            LastInColumnValue = WorkRange(i).Value
```

```
            Exit Function
        End If
    Next i
End Function
```

B.7. MODUL DatenAlsTabelle

```
'+-----------------------------------------------------------------
'| In diesem Modul findet die Datenauswertung statt.
'+-----------------------------------------------------------------
Option Explicit

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Auffüllen der GRT Tabellen.
'* Parameter: Sitzung als Ganze Zahl - Sitzungsnummer
'* Parameter: ArbMap als Zeichenkette - Name der Arbeitsmappe
'* Parameter: Erstellungsdatum als Zeichenkette - gibt an, wann
'*            die AGARD-STRES-Battery Datei erzeugt wurde.
'*****************************************************************
Sub GRT_Als_TAB(Sitzung%, ArbMap$, Erstellungsdatum$)
 ' Schleifenvariable
  Dim i%, k%
  ' Variablen zur statistischen Auswertung
  Dim RT_Anz%, Mwt!, RT_sum!
  Dim errordiff!, errorsame!, sum_diff!
  Dim sum_same!, Proz_errDiff!, Proz_errSame!
  Dim Uhrzeit$, Datum$
  Dim Streuung!

  'Erstellungsdatum der einzelnen Daten
  Datum = Mid(Erstellungsdatum$, 1, DATUM_LAENGE)
  Uhrzeit = Mid(Erstellungsdatum, DATUM_LAENGE + 1, UHRZEIT_LAENGE)

  'Initialisierung der Variablen.
  errordiff = 0: errorsame = 0: sum_diff = 0
  sum_same = 0: RT_sum = 0: RT_Anz = 0
  Mwt = 0: Proz_errDiff = 0: Proz_errSame = 0

  ' bestimmt die Anzahl der Zeilen
  k = LastInColumnPosition(Range("A:A"))

  For i = DATEN_START To k
    Select Case Cells(i, 7)

      ' Ein Fehler Maß=1 führt ebenfalls zum Ausschluß der Daten.
      Case 1
        If ((Cells(i, 11).Value = "T" And Cells(i, 12).Value = "T") _
            Or _
            (Cells(i, 11).Value = "F" And Cells(i, 12).Value = "F")) _
          Then
            errorsame = errorsame + 1: sum_same = sum_same + 1
        Else: errordiff = errordiff + 1: sum_diff = sum_diff + 1
        End If

      Case 2
```

```
        RT_sum = Cells(i, 9) + RT_sum: RT_Anz = RT_Anz + 1
        If ((Cells(i, 11).Value = "T" And Cells(i, 12).Value = "T") _
             Or _
            (Cells(i, 11).Value = "F" And Cells(i, 12).Value = "F")) _
         Then
           sum_same = sum_same + 1
        Else
           sum_diff = sum_diff + 1
        End If

      Case Else

    End Select
  Next i

  If RT_Anz > 0 Then
    Mwt = RT_sum / RT_Anz
    Streuung = StandardAbweichung(RT_Anz, _
                                  Range(Cells(DATEN_START, 9), _
                                        Cells(k, 9)), _
                                  Mwt)
  End If
  If errordiff > 0 Then
      Proz_errDiff = 100 * errordiff / sum_diff
  End If
  If errorsame > 0 Then
      Proz_errSame = 100 * errorsame / sum_same
  End If
  schliesseFenster

  Windows(ArbMap).Activate

  Sheets("GRT Tabelle").Select
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 1).Value = Sitzung
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 2).Value = Datum
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 3).Value = Uhrzeit
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 4).Value = Mwt
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 5).Value = Proz_errSame
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 6).Value = Proz_errDiff
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 7).Value = Streuung

  ActiveWorkbook.Save
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Auffüllen der MST Tabellen.
'* Parameter: Sitzung als Ganze Zahl - Sitzungsnummer
'* Parameter: ArbMap als Zeichenkette - Name der Arbeitsmappe
'* Parameter: Erstellungsdatum als Zeichenkette - gibt an, wann
'*            die AGARD-STRES-Battery Datei erzeugt wurde.
'*****************************************************************
Sub MST_Als_TAB(Sitzung%, ArbMap$, Erstellungsdatum$)
  ' Schleifenvariable
  Dim i%, k%
  ' Variablen zur statistischen Auswertung
  Dim Mwt!, RT_Anz%, RT_sum!
  Dim errorneg!, errorpos!
  Dim sum_neg!, sum_pos!
  Dim Proz_errneg!, Proz_errpos!
  Dim Uhrzeit$, Datum$
```

```
Dim Streuung!

Datum = Mid(Erstellungsdatum, 1, DATUM_LAENGE)
Uhrzeit = Mid(Erstellungsdatum, DATUM_LAENGE + 1, UHRZEIT_LAENGE)
errorneg = 0
errorpos = 0
sum_neg = 0
sum_pos = 0
RT_sum = 0
RT_Anz = 0
Mwt = 0
Proz_errneg = 0
Proz_errpos = 0
' bestimmt die Anzahl der Zeilen
k = LastInColumnPosition(Range("A:A"))

For i = DATEN_START To k
  Select Case Cells(i, 8)

    ' Ein Fehlermaß von "1" führt
    ' ebenfalls zum Ausschluß der Daten
    Case 1
        If Cells(i, 11).Value = "D" Then
                errorpos = errorpos + 1: _
                sum_pos = sum_pos + 1
        Else:   errorneg = errorneg + 1: _
                sum_neg = sum_neg + 1
        End If

    Case 2
        RT_sum = Cells(i, DATEN_START) + RT_sum: _
        RT_Anz = RT_Anz + 1
        If Cells(i, 11).Value = "W" Then
                sum_pos = sum_pos + 1
        Else: sum_neg = sum_neg + 1
        End If
    Case Else
  End Select
Next i

If RT_Anz > 0 Then
    Mwt = RT_sum / RT_Anz
    Streuung = StandardAbweichung(RT_Anz, Range( _
               Cells(DATEN_START, 10), Cells(k, 10)), Mwt)
End If

If errorneg > 0 Then
    Proz_errneg = 100 * errorneg / sum_neg
End If

If errorpos > 0 Then
    Proz_errpos = 100 * errorpos / sum_pos
End If

schliesseFenster
Windows(ArbMap).Activate

Sheets("MST Tabelle").Select
Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 1).Value = Sitzung
Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 2).Value = Datum
```

```
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 3).Value = Uhrzeit
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 4).Value = Mwt
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 5).Value = Proz_errpos
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 6).Value = Proz_errneg
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 7).Value = Streuung

  ActiveWorkbook.Save
End Sub

'*************************************************************
'* Prozedur zum Auffüllen der UTT Tabellen.
'* Parameter: Sitzung als Ganze Zahl - Sitzungsnummer
'* Parameter: ArbMap als Zeichenkette - Name der Arbeitsmappe
'* Parameter: Erstellungsdatum als Zeichenkette - gibt an, wann
'*            die AGARD-STRES-Battery Datei erzeugt wurde.
'*************************************************************
Sub UTT_Als_TAB(Sitzung%, ArbMap$, Erstellungsdatum$)
  ' Schleifenvariable
  Dim i%, k%
  ' Variablen zur statistischen Auswertung
  Dim Control!, Streuung!
  Dim RMS_Mwt!, RMS_sum!
  Dim RMS_Anz%
  Dim Uhrzeit$, Datum$

  Datum = Mid(Erstellungsdatum, 1, DATUM_LAENGE)
  Uhrzeit = Mid(Erstellungsdatum, DATUM_LAENGE + 1, UHRZEIT_LAENGE)
  RMS_sum = 0
  RMS_Anz = 0
  RMS_Mwt = 0
  Control = 0

  ' bestimmt die Anzahl der Zeilen
  k = LastInColumnPosition(Range("A:A"))

  For i = DATEN_START To k
      RMS_sum = Cells(i, 7) + RMS_sum
      RMS_Anz = RMS_Anz + 1
      Control = Cells(i, 8) + Control
  Next i

  If RMS_Anz > 0 Then
    RMS_Mwt = RMS_sum / RMS_Anz
    Streuung = StandardAbweichung(RMS_Anz, _
                        Range(Cells(DATEN_START, 7), Cells(k, 7)), _
                        RMS_Mwt)
  End If

  schliesseFenster
  Windows(ArbMap).Activate

  Sheets("UTT Tabelle").Select
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 1).Value = Sitzung
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 2).Value = Datum
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 3).Value = Uhrzeit
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 4).Value = RMS_Mwt
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 5).Value = Control
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 6).Value = Streuung

  ActiveWorkbook.Save
```

```
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Auffüllen der DUT Tabellen.
'* Parameter: Sitzung als Ganze Zahl - Sitzungsnummer
'* Parameter: ArbMap als Zeichenkette - Name der Arbeitsmappe
'* Parameter: Erstellungsdatum als Zeichenkette - gibt an, wann
'*            die AGARD-STRES-Battery Datei erzeugt wurde.
'*****************************************************************
Sub DUT_Als_TAB(Sitzung%, ArbMap$, Erstellungsdatum$)
  ' Schleifenvariable
  Dim i%, k%
  ' Variablen zur statistischen Auswertung
  Dim Mwt!, RT_sum!, RT_Anz%, Control!
  Dim Streu_UTT!, Streu_MST!
  Dim errorneg!, errorpos!, sum_neg!, sum_pos!
  Dim Proz_errneg!, Proz_errpos!
  Dim RMS_Mwt!, RMS_sum!, RMS_Anz%
  Dim Uhrzeit$, Datum$

  Datum = Mid(Erstellungsdatum, 1, DATUM_LAENGE)
  Uhrzeit = Mid(Erstellungsdatum, DATUM_LAENGE + 1, UHRZEIT_LAENGE)
  ' Variablen zum MST-Teil
  errorneg = 0
  errorpos = 0
  sum_neg = 0
  sum_pos = 0
  RT_sum = 0
  RT_Anz = 0
  Mwt = 0
  Proz_errneg = 0
  Proz_errpos = 0
  ' Variablen zum UTT-Teil
  RMS_sum = 0
  RMS_Anz = 0
  RMS_Mwt = 0
  Control = 0
  ' bestimmt die Anzahl der Zeilen
  k = FindPositionInColumn(SuchMuster:="", _
                           Spalte:=1, _
                           StartReihe:=DATEN_START) - 2

  For i = DATEN_START To k
    RMS_sum = Cells(i, 19) + RMS_sum
    RMS_Anz = RMS_Anz + 1
    Control = Cells(i, 20) + Control

    Select Case Cells(i, 8)
    ' Ein Fehlermaß von "1" führt
    ' ebenfalls zum Ausschluß der Daten
        Case 1
            If Cells(i, 11).Value = "D" Then
              errorpos = errorpos + 1: _
              sum_pos = sum_pos + 1
            Else: errorneg = errorneg + 1: _
              sum_neg = sum_neg + 1
            End If

        Case 2
            RT_sum = Cells(i, 10) + RT_sum: _
```

```
            RT_Anz = RT_Anz + 1
            If Cells(i, 11).Value = "W" Then
               sum_pos = sum_pos + 1
            Else: sum_neg = sum_neg + 1
            End If
        Case Else
    End Select
  Next i

  If RMS_Anz > 0 Then
    RMS_Mwt = RMS_sum / RMS_Anz
    Streu_UTT = StandardAbweichung(RMS_Anz, _
                                   Range(Cells(DATEN_START, 19), _
                                   Cells(k, 19)), RMS_Mwt)
  End If

  If RT_Anz > 0 Then
     Mwt = RT_sum / RT_Anz
     Streu_MST = StandardAbweichung(RT_Anz, _
                                   Range(Cells(DATEN_START, 10), _
                                   Cells(k, 10)), Mwt)
  End If

  If errorneg > 0 Then
      Proz_errneg = 100 * errorneg / sum_neg
  End If

  If errorpos > 0 Then
      Proz_errpos = 100 * errorpos / sum_pos
  End If
  schliesseFenster
  Windows(ArbMap).Activate
  Sheets("DUT Tabelle").Select

  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 1).Value = Sitzung
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 2).Value = Datum
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 3).Value = Uhrzeit
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 4).Value = RMS_Mwt
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 5).Value = Control
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 6).Value = Streu_UTT
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 7).Value = Mwt
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 8).Value = Proz_errpos
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 9).Value = Proz_errneg
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 10).Value = Streu_MST

  ActiveWorkbook.Save
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Auffüllen der SRT Tabellen.
'* Parameter: Sitzung als Ganze Zahl - Sitzungsnummer
'* Parameter: ArbMap als Zeichenkette - Name der Arbeitsmappe
'* Parameter: Erstellungsdatum als Zeichenkette - gibt an, wann
'*            die AGARD-STRES-Battery Datei erzeugt wurde.
'*****************************************************************
Sub SRT_Als_TAB(Sitzung%, ArbMap$, Erstellungsdatum$)
  ' Schleifenvariable
  Dim i%, k%
  ' gibt an, ab welcher Zeile, die Datenauswertung  erfolgt
  Dim StartWert%
```

```
' Variablen zur statistischen Auswertung
Dim u_Error!, Streuung!, Lapses%, Best
Dim SRT_Mwt!, SRT_sum!, SRT_Anz%
Dim Uhrzeit$, Datum$

' Beim SRT fiel auf, dass der 1.Wert mit FehlerNr.10
' extrem hoch ausfällt und den Mittelwert verfälscht.
' Daher wird der FehlerNr.10-Wert nicht berücksichtigt,
' sondern mit dem F10_Wert 400 ms gleichgesetzt.
Const F10_Wert = 400

' Erstellungsdatum der einzelnen Daten
Datum = Mid(Erstellungsdatum, 1, DATUM_LAENGE)
Uhrzeit = Mid(Erstellungsdatum, DATUM_LAENGE + 1, UHRZEIT_LAENGE)
SRT_sum = 0: SRT_Anz = 0: SRT_Mwt = 0: u_Error = 0
Streuung = 0: Lapses = 0

' bestimmt die Anzahl der Zeilen
k = LastInColumnPosition(Range("A:A"))

' Der Wert für DATEN_START wird um 1 erhöht, umso den 1.Wert
' rauszufiltern, da dieser in den AGARD-Daten stets den Wert
' Null besitzt und damit zu einer Verfälschung des Ergebnisses
' führt.
StartWert = DATEN_START + 1

For i = StartWert To k
  Select Case Cells(i, 9)
    'Berechnet die Anzahl der RT über 500 ms
    Case Is >= 500
        Lapses = Lapses + 1
    Case Else
  End Select

  Select Case Cells(i, 7)
    Case 6
        Cells(i, 9).ClearContents
        u_Error = u_Error + 1
    Case 2
        SRT_sum = Cells(i, 9) + SRT_sum: _
        SRT_Anz = SRT_Anz + 1
    Case 10
        SRT_sum = F10_Wert + SRT_sum: _
        SRT_Anz = SRT_Anz + 1
        Cells(i, 9).ClearContents
    Case Else
  End Select
Next i

If SRT_Anz > 0 Then
   SRT_Mwt = SRT_sum / SRT_Anz
   Streuung = StandardAbweichung(SRT_Anz, _
                      Range(Cells(StartWert, 9), Cells(k, 9)), _
                      SRT_Mwt)
End If

' Hier wird die Routine zur Sortierung der Spalte I eingebunden:
' Es ist wichtig diese Routine erst am Anschluß der anderen
' Berechnungen aufzurufen, da den anderen Berechnungen eine
' Zuordnung von verschiedenen Spalten (Spalte 7 und 9)zugrunde liegt
```

```
  ' Die Zahlen der Spalte 'I' werden aufsteigend geordnet.

  Range("I" & StartWert & ":I" & k).Select
  Selection.Sort Key1:=Range("I11"), Order1:=xlAscending, _
                 Header:=xlNo, OrderCustom:=1, _
                 MatchCase:=False, Orientation:=xlTopToBottom

  Best = 0
  Best = CInt((k - StartWert) / 10) + 10

  Best = Mittelwert((k - StartWert), _
                   Range("I" & StartWert & ":I" & Best))
  'Ende der Routine

  schliesseFenster
  Windows(ArbMap).Activate

  Sheets("SRT Tabelle").Select

  'Eintrag in die Mappe, die hierfür mitgeöffnet sein muss

  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 1).Value = Sitzung
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 2).Value = Datum
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 3).Value = Uhrzeit
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 4).Value = SRT_Mwt
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 5).Value = Streuung
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 6).Value = u_Error
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 7).Value = Lapses
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 8).Value = Best

  ActiveWorkbook.Save
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zum Auffüllen der TLX Tabellen.
'* Parameter: Sitzung als Ganze Zahl - Sitzungsnummer
'* Parameter: ArbMap als Zeichenkette - Name der Arbeitsmappe
'* Parameter: Erstellungsdatum als Zeichenkette - gibt an, wann
'*            die AGARD-STRES-Battery Datei erzeugt wurde.
'*****************************************************************
Sub TLX_Als_TAB(Sitzung%, ArbMap$, Erstellungsdatum$)
  Dim GA%, KA%, ZA%, l%, A%, u_F%
  Dim Uhrzeit$, Datum$
  Datum = Mid(Erstellungsdatum, 1, DATUM_LAENGE)
  Uhrzeit = Mid(Erstellungsdatum, DATUM_LAENGE + 1, UHRZEIT_LAENGE)

  GA = Cells(1, 2)
  KA = Cells(1, 4)
  ZA = Cells(1, 6)
  l = Cells(1, 8)
  A = Cells(1, 10)
  u_F = Cells(1, 12)

  schliesseFenster
  Windows(ArbMap).Activate

  Sheets("TLX Tabelle").Select
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 1).Value = Sitzung
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 2).Value = Datum
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 3).Value = Uhrzeit
```

```
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 4).Value = GA
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 5).Value = KA
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 6).Value = ZA
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 7).Value = l
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 8).Value = A
  Cells(TABELLEN_START + Sitzung, 9).Value = u_F

  ActiveWorkbook.Save
End Sub
'*****************************************************************
'* Funktion zur Berechnung des Mittelwertes einer Strichprobe
'* Parameter: k als Long (lange Ganzzahl) - Stichprobengröße
'* Parameter: Stichproben als Range (Bereich) - Feld mit
'*                                              Stichprobenwerten
'* Rückgabewert: Mittelwert als Single
'*              (Gleitkommazahl mit einfacher Genauigkeit)
'*****************************************************************
Function Mittelwert(k As Long, Stichproben As Range) As Single
  ' Summenwert
  Dim Summe As Single
  ' Schleifenvariable
  Dim i As Integer
  Summe = 0
  ' Summenbildung
  For i = 1 To k
   Summe = Summe + Stichproben(i)
  Next i
  ' Berechnung des Mittelwertes aus der Summe geteilt
  ' durch Grösse der Stichprobe
  Mittelwert = Summe / k
End Function
'*****************************************************************
'* Funktion zur Berechnung der Standardabweichung
'* Parameter: N als Integer (ganze Zahl) - Stichprobengröße
'* Parameter: Stichproben als Range (Bereich) - Feld mit
'*                                              Stichprobenwerten
'* Parameter: Mittelwert als Single
'*            (Gleitkommazahl mit einfacher Genauigkeit) -
'*            Mittelwert der Stichprobe
'* Rückgabewert: Standardabweichung als Single
'*            (Gleitkommazahl mit einfacher Genauigkeit)
'*****************************************************************
Function StandardAbweichung(n As Integer, _
                            Stichproben As Range, _
                            Mittelwert As Single) As Single
  ' Schleifenvariable
  Dim i As Integer
  ' Summe der Quadrate
  Dim SummenQuadrat As Single
  SummenQuadrat = 0
  ' Berechnung der Summenquadrate
  For i = 1 To n
     SummenQuadrat = SummenQuadrat + _
                     (Stichproben(i) - Mittelwert) ^ 2
  Next i
  ' Bestimmung der Standardabweichung
  ' als Quadratwurzel der Varianz
  StandardAbweichung = Sqr(SummenQuadrat / (n - 1))
End Function
```

B.8. MODUL DatenAlsDiagramm

```
'+---------------------------------------------------------------
'| Dieses Modul faßt alle Prozeduren zusammen mit denen der
'| Benutzer Diagramme aus den Datentabellen erzeugung kann.
'+---------------------------------------------------------------
Option Explicit

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erstellung von Diagrammen basierend auf Tabellen
'* der AGARD-STRES Battery Datenauswertung.
'*****************************************************************
Sub Diagramm_alle()
  Dim EinzelBlatt As Object
  On Error GoTo NoWorkingMap
  ' In einer Schleife werden alle Blätter ausgewählt
  ' und die Prozedur <Diagramm_erstellen> ausgeführt.
  For Each EinzelBlatt In Sheets
    EinzelBlatt.Select: Diagramm_erstellen
  Next EinzelBlatt
  GoTo continue
NoWorkingMap:
  MsgBox "Es ist ein Fehler aufgetreten! Es fehlt die " & _
         "Arbeitsmappe für den Probanden.", _
         vbOKOnly + vbCritical
  Exit Sub
continue:
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Erstellung von Diagrammen anhand der einzelnen
'* Tabellennamen. So wird bei der Tabelle mit dem Namen
'* "GRT Tabelle" die Prozedur Dia_GRT() aufgerufen.
'* Um ein ständiges Aktualisieren des Bildschirms zu vermeiden,
'* wird die Eigenschaft "Application.ScreenUpdating" auf Falsch
'* gesetzt.
'*****************************************************************
Sub Diagramm_erstellen()
  Dim NameAktivesBlatt$
  Dim AktualModus
  ' Geschwindigkeitsoptimierung Anfang
  ' Die Grundeinstellung wird in der Variablen
  ' AktualModus zwischengespeichert.
  AktualModus = Application.ScreenUpdating

  ' Die Bildschirmaktualisierung wird ausgeschaltet.
  ' Diese Methode ist vor allem bei der Diagrammerstellung
  ' nützlich. So wird das Diagramm erst nach Fertigstellung
  ' angezeigt. Eine zeitaufwendige Aktualisierung des
  ' Fensters entfällt so.
  Application.ScreenUpdating = False

  On Error GoTo NoWorkingMap
```

```
  ' Entsprechend den Blattnamen der Arbeitsmappe werden
  ' einzelne Prozeduren zur Diagrammerstellung aufgerufen.
  NameAktivesBlatt = Application.ActiveSheet.name
  GoTo continueDiagrammCreation
' Fehlermeldung bei fehlender Arbeitsmappe des Probanden
NoWorkingMap:
  MsgBox "Fehlende Arbeitsmappe. Bitte legen Sie eine " & _
         "neue Arbeitsmappe an, oder öffnen eine" & _
         " vorhandene Arbeitsmappe.", _
         vbOKOnly + vbCritical
  GoTo finish
continueDiagrammCreation:
  On Error GoTo DiagrammError
  ' Fallabfrage für die einzelnen Tabellenblätter
  Select Case NameAktivesBlatt
   Case "GRT Tabelle": Dia_GRT
   Case "MST Tabelle": Dia_MST
   Case "UTT Tabelle": Dia_UTT
   Case "DUT Tabelle": Dia_DUT
   Case "SRT Tabelle": Dia_SRT
   Case "TLX Tabelle": Dia_TLX
   Case Else: 'MeldungsDlg "Keine AGARD_Tabelle"; vbWarnung
  End Select
  GoTo finish
' Fehlermeldung bei Diagrammerstellung
DiagrammError:
  MsgBox "Es wurde entweder schon ein Diagramm aus der " & _
         NameAktivesBlatt & " erstellt oder die Tabelle" & _
         " ist leer!", _
         vbOKOnly + vbCritical
  Exit Sub
  ' Geschwindigkeitsoptimierung Ende
finish:
  Application.ScreenUpdating = AktualModus
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung der GRT Tabellen als Diagramm.
'*****************************************************************
Sub Dia_GRT()
  ' Es wird ein neues Diagramm hinzugefügt
  Charts.Add
  ActiveSheet.name = "GRT Diagramm"

  ' Datenquelle und Beschriftung des Diagramms
  ActiveChart.ChartWizard Source:=Sheets("GRT Tabelle"). _
    Range("A" & TABELLEN_START & ":A" & GROESSE_TABELLE & _
    ",D" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE), _
    Gallery:=xlCombination, Format:=2, _
    PlotBy:=xlColumns, CategoryLabels:=1, SeriesLabels:=1, _
    HasLegend:=1, Title:="", CategoryTitle:="Sitzung", _
    ValueTitle:="RT [ms]", _
    ExtraTitle:="ERR [%]"

  ' Formatierung des Diagramms
  VerbundDiagramm
  sek_Achse ScaleSize:=50

  ' Ausrichtung der ersten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (1)
```

```
  ' Ausrichtung der zweiten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (2)

  ' Hier erfolgt der Eintrag des Fehlerindikators.
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, _
    Include:=xlBoth, Type:=xlCustom, _
    Amount:="='GRT Tabelle'!R4C7:R" & _
                  GROESSE_TABELLE & "C7", _
    MinusValues:="='GRT Tabelle'!R4C7:R" & _
                  GROESSE_TABELLE & "C7"

  ' Formatierung der Zeichenfläche
  ZeichenFlaeche_Format
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung der MST Tabellen als Diagramm.
'*****************************************************************
Sub Dia_MST()
 ' Es wird ein neues Diagramm hinzugefügt
  Charts.Add
  ActiveSheet.name = "MST Diagramm"

  ' Datenquelle und Beschriftung des Diagramms
  ActiveChart.ChartWizard Source:=Sheets("MST Tabelle"). _
    Range("A" & TABELLEN_START & ":A" & GROESSE_TABELLE & _
    ",D" & TABELLEN_START & ":F" & GROESSE_TABELLE), _
    Gallery:=xlCombination, Format:=2, _
    PlotBy:=xlColumns, CategoryLabels:=1, _
    SeriesLabels:=1, HasLegend:=1, _
    Title:="", CategoryTitle:="Sitzung", _
    ValueTitle:="RT [ms]", ExtraTitle:="ERR [%]"

  ' Formatierung des Diagramms
  VerbundDiagramm
  sek_Achse ScaleSize:=20

  ' Ausrichtung der ersten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (1)
  ' Ausrichtung der zweiten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (2)

  ' Hier erfolgt der Eintrag des Fehlerindikators.
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, _
    Include:=xlBoth, Type:=xlCustom, _
    Amount:="='MST Tabelle'!R4C7:R" & _
                      GROESSE_TABELLE & "C7", _
    MinusValues:="='MST Tabelle'!R4C7:R" & _
                      GROESSE_TABELLE & "C7"

  ' Formatierung der Zeichenfläche
  ZeichenFlaeche_Format
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung der UTT Tabellen als Diagramm.
'*****************************************************************
Sub Dia_UTT()
```

```
  ' Es wird ein neues Diagramm hinzugefügt
  Charts.Add
  ActiveSheet.name = "UTT Diagramm"

  ' Datenquelle und Beschriftung des Diagramms
  ActiveChart.ChartWizard Source:=Sheets("UTT Tabelle"). _
    Range("A" & TABELLEN_START & ":A" & _
                          GROESSE_TABELLE & ",D" & _
    TABELLEN_START & ":E" & GROESSE_TABELLE), _
    Gallery:=xlCombination, Format:=2, PlotBy:=xlColumns, _
    CategoryLabels:=1, SeriesLabels:=1, HasLegend:=1, _
    Title:="", CategoryTitle:="Sitzung", _
    ValueTitle:="[mm]", ExtraTitle:="Anzahl"

  ' Formatierung des Diagramms
  Diagramm_Format
  sek_Achse ScaleSize:=20

  ' Ausrichtung der ersten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (1)

  ' Ausrichtung der zweiten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (2)

  ' Hier erfolgt der Eintrag des Fehlerindikators.
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, _
    Include:=xlBoth, Type:=xlCustom, _
    Amount:="='UTT Tabelle'!R4C6:R" & _
                        GROESSE_TABELLE & "C6", _
    MinusValues:="='UTT Tabelle'!R4C6:R" & _
                        GROESSE_TABELLE & "C6"

  ' Formatierung der Zeichenfläche
  ZeichenFlaeche_Format
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung der SRT Tabellen als Diagramm.
'*****************************************************************
Sub Dia_SRT()
  ' Es wird ein neues Diagramm hinzugefügt
  Charts.Add
  ActiveSheet.name = "SRT Diagramm"

  ' Datenquelle und Beschriftung des Diagramms
  ActiveChart.ChartWizard _
    Source:=Sheets("SRT Tabelle").Range("A" & TABELLEN_START _
        & ":A" & GROESSE_TABELLE & ",D" & TABELLEN_START & _
        ":D" & GROESSE_TABELLE & ",F" & TABELLEN_START & _
        ":F" & GROESSE_TABELLE), _
    Gallery:=xlCombination, Format:=2, PlotBy:=xlColumns, _
    CategoryLabels:=1, SeriesLabels:=1, HasLegend:=1, _
    Title:="", CategoryTitle:="Sitzung", ValueTitle:="RT [ms]", _
    ExtraTitle:="ERR"

  ' Formatierung des Diagramms
  ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
  Selection.TickLabels.Orientation = xlHorizontal
  ActiveChart.ChartGroups(1).Type = xlLine
```

```
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
Selection.Type = xlColumn
ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
With ActiveChart.ChartGroups(1)
  .SubType = 1
  .Overlap = 0
  .AxisGroup = 2
  .GapWidth = 0
End With

ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
With Selection
  .HorizontalAlignment = xlCenter
  .VerticalAlignment = xlCenter
  .Orientation = xlHorizontal
End With

Selection.Left = 4
Selection.Top = 1
ActiveChart.ChartArea.Select
ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).AxisTitle.Select
With Selection
  .HorizontalAlignment = xlCenter
  .VerticalAlignment = xlCenter
  .Orientation = xlHorizontal
End With
Selection.Left = 621
Selection.Top = 1

ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).Select
With ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary)
  .MinimumScaleIsAuto = True
  .MaximumScale = 8
  .MinorUnitIsAuto = True
  .MajorUnitIsAuto = True
  .Crosses = xlAutomatic
End With

ActiveChart.Axes(xlValue).Select
With ActiveChart.Axes(xlValue)
  .MinimumScale = 100
  .MaximumScaleIsAuto = True
  .MinorUnitIsAuto = True
  .MajorUnitIsAuto = True
  .Crosses = xlAutomatic
End With

ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).Trendlines.Add( _
  Type:=xlPower, Forward:=0, Backward:=0).Select

' Ausrichtung der ersten Achsenbeschriftung
AchsenTitelAusrichtung (1)
' Ausrichtung der zweiten Achsenbeschriftung
AchsenTitelAusrichtung (2)

' Hier erfolgt der Eintrag des Fehlerindikators.
ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, _
  Include:=xlBoth, Type:=xlCustom, _
```

```
    Amount:="='SRT Tabelle'!R4C5:R" & GROESSE_TABELLE & "C5", _
    MinusValues:="='SRT Tabelle'!R4C5:R" & GROESSE_TABELLE & "C5"

  ' Formatierung der Zeichenfläche
  ZeichenFlaeche_Format
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung der DUT Tabellen als Diagramm.
'*****************************************************************
Sub Dia_DUT()

' 1.Teilaufgabe mit UTT
  ' Es wird ein neues Diagramm hinzugefügt
  Charts.Add
  ActiveSheet.name = "DUT-Track Dia"

  ' Datenquelle und Beschriftung des Diagramms
  ActiveChart.ChartWizard Source:=Sheets("DUT Tabelle"). _
      Range("A" & TABELLEN_START & ":A" & GROESSE_TABELLE & _
      ",D" & TABELLEN_START & ":E" & GROESSE_TABELLE), _
    Gallery:=xlCombination, Format:=2, PlotBy:=xlColumns, _
    CategoryLabels:=1, SeriesLabels:=1, HasLegend:=1, _
    Title:="", CategoryTitle:="Sitzung", _
    ValueTitle:="[mm]", ExtraTitle:="Anzahl"

   ' Formatierung des Diagramms
  Diagramm_Format
  sek_Achse ScaleSize:=20

  ' Ausrichtung der ersten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (1)

  ' Ausrichtung der zweiten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (2)

  ' Hier folgt der Eintrag des Fehlerindikators.
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, _
    Include:=xlBoth, Type:=xlCustom, _
    Amount:="='DUT Tabelle'!R4C6:R" & GROESSE_TABELLE & "C6", _
    MinusValues:="='DUT Tabelle'!R4C6:R" & GROESSE_TABELLE & "C6"

  ' Formatierung der Zeichenfläche
  ZeichenFlaeche_Format

' 2.Teil MST
  Sheets("DUT Tabelle").Select
  ' Es wird ein neues Diagramm hinzugefügt
  Charts.Add
  ActiveSheet.name = "DUT-MST Dia"

  ' Datenquelle und Beschriftung des Diagramms
  ActiveChart.ChartWizard Source:=Sheets("DUT Tabelle"). _
      Range("A" & TABELLEN_START & ":A" & GROESSE_TABELLE & _
      ", G" & TABELLEN_START & ":I" & GROESSE_TABELLE), _
    Gallery:=xlCombination, Format:=2, _
    PlotBy:=xlColumns, CategoryLabels:=1, _
    SeriesLabels:=1, HasLegend:=1, _
    Title:="", CategoryTitle:="Sitzung", _
```

```
    ValueTitle:="RT [ms]", ExtraTitle:="ERR [%]"

  ' Formatierung des Diagramms
  VerbundDiagramm
  sek_Achse ScaleSize:=20

  ' Ausrichtung der ersten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (1)
  ' Ausrichtung der zweiten Achsenbeschriftung
  AchsenTitelAusrichtung (2)

  ' Hier folgt der Eintrag des Fehlerindikators.
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(1).ErrorBar Direction:=xlY, _
    Include:=xlBoth, Type:=xlCustom, _
    Amount:="='DUT Tabelle'!R4C10:R" & GROESSE_TABELLE & "C10", _
    MinusValues:="='DUT Tabelle'!R4C10:R" & GROESSE_TABELLE & "C10"

  ' Formatierung der Zeichenfläche
  ZeichenFlaeche_Format
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung der TLX Tabellen als Diagramm.
'*****************************************************************
Sub Dia_TLX()

End Sub
'*****************************************************************
'* Prozedur zur Darstellung von Diagrammen mit einfachem Rahmen und
'* ohne Hintergrundfarbe.
'*****************************************************************
Sub ZeichenFlaeche_Format()
  ActiveChart.PlotArea.Select
  With Selection.Border
    .ColorIndex = 1
    .Weight = xlThin
    .LineStyle = xlContinuous
  End With
  Selection.Interior.ColorIndex = xlNone
  ActiveChart.ChartArea.Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur setzt Sekundärachse auf neue Größe.
'* Parameter: ScaleSize
'*****************************************************************
Sub sek_Achse(ScaleSize%)
  ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).Select
  With ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary)
    .MinimumScaleIsAuto = True
    .MaximumScale = ScaleSize
    .MinorUnitIsAuto = True
    .MajorUnitIsAuto = True
    .Crosses = xlAutomatic
  End With
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur richtet Achsenbeschriftung vertikal aus.
```

```
'* Parameter: Achse als ganze Zahl - Nummer der Achsenbeschriftung
'*****************************************************************
Sub AchsenTitelAusrichtung(Achse%)
  Select Case Achse
   Case 1
  ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
    With Selection
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .VerticalAlignment = xlCenter
        .ReadingOrder = xlContext
        .Orientation = xlUpward
        .Left = 1
    End With
  Case 2
  ' Zweite Achsenbschriftung vertikal ausrichten
  ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).AxisTitle.Select
  With Selection
     .HorizontalAlignment = xlCenter
     .VerticalAlignment = xlCenter
     .ReadingOrder = xlContext
     .Orientation = xlUpward
     .Left = 530
  End With
  Case Else
  End Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur erstellt ein Verbunddiagramm mit einer Säulenreihe
'* und zwei Linienreihen.
'*****************************************************************
Sub VerbundDiagramm()
  ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
  Selection.TickLabels.Orientation = xlHorizontal

  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  Selection.Type = xlLine

  ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
  Selection.Type = xlColumn

  With ActiveChart.ChartGroups(1)
    .SubType = 1
    .Overlap = 0
    .AxisGroup = 2
    .GapWidth = 0
  End With

  ActiveChart.SeriesCollection(3).Select
  Selection.Type = xlColumn

  ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).AxisTitle.Select
  With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .Orientation = xlHorizontal
  End With

  Selection.Left = 615
  Selection.Top = 1
```

```
  ActiveChart.ChartArea.Select
  ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
  With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .Orientation = xlHorizontal
  End With

  ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
  Selection.Top = 1

  ActiveChart.SeriesCollection(1).Trendlines.Add(Type:= _
    xlPower, Forward:=0, Backward:=0).Select
  ActiveChart.ChartArea.Select
End Sub

'*****************************************************************
'* Prozedur erstellt ein Verbunddiagramm mit einer Säulenreihe
'* und zwei Linienreihen.
'*****************************************************************
Sub Diagramm_Format()
  ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
  Selection.TickLabels.Orientation = xlHorizontal

  ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
  Selection.Left = 11
  Selection.Top = 1
  With Selection
      .HorizontalAlignment = xlCenter
      .VerticalAlignment = xlCenter
      .Orientation = xlHorizontal
  End With
  Selection.Top = 1

  ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
  Selection.Left = 1
  ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).AxisTitle.Select
  With Selection
      .HorizontalAlignment = xlCenter
      .VerticalAlignment = xlCenter
      .Orientation = xlHorizontal
  End With

  ActiveChart.Axes(xlValue, xlSecondary).AxisTitle.Select
  Selection.Left = 595
  Selection.Top = 1
  ActiveChart.ChartArea.Select
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Select
  Selection.Type = xlLine
  ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(2).Select
  Selection.Type = xlColumn
  ActiveChart.SeriesCollection(1).Trendlines.Add(Type:= _
      xlPower, Forward:=0, Backward:=0).Select
End Sub
```

Abbildungsverzeichnis

2.1. Altersverteilung und Schlafdauer 7
2.2. Geschlechtsverteilung der Schlafdauer 8
2.3. Konzentrations-Zeitkurve von Alkohol 15
2.4. Subtraktionsmethode 20
2.5. Black Box Sichtweise 22
2.6. Stufen des Reaktionsprozesses 23
2.7. Drei-Speicher-Modell von Atkinson und Shiffrin [1968] 24

3.1. AMSAN 32
3.2. Computergestützte Ausführung der *AGARD-STRES-Battery*. 40
3.3. Bildschirmpräsentation des Single Reaction Task (SRT) 43
3.4. Ausgabedatei einer Reaktionszeitaufgabe 44
3.5. Ausgabe AGARD2EXCEL des Reaktionstests auf einen Einzelreiz 45
3.6. Bildschirmpräsentation des Grammatical Reasoning Task, GRT 46
3.7. Ausgabedatei einer Satzverifikationsaufgabe 48
3.8. Ausgabe AGARD2EXCEL einer Satzverifikationsaufgabe 49
3.9. Bildschirmpräsentation des Memory Search Task, MST 50
3.10. Ausgabedatei einer Gedächtnissucheaufgabe 51
3.11. AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum MST 51
3.12. Bildschirmpräsentation des Unstable Tracking Task, UTT 52
3.13. Crossover Modell 54
3.14. Ausgabedatei einer Nachführensaufgabe 56
3.15. AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum UTT 56
3.16. Bildschirmpräsentation des Dual Task, DUT 57
3.17. Ausgabedatei einer Doppelaufgabe 58
3.18. AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum DUT 59
3.19. Fragebogen NASA-TLX 59
3.20. Ausgabedatei einer Doppelaufgabe 60
3.21. AGARD2EXCEL generierte Excel-Datei zum NASA-TLX 60

4.1. Atemalkoholkonzentrationen der Gruppe ACDF 65
4.2. Abbaurate der Atemalkoholkonzentration der Gruppe ACDF 65
4.3. Atemalkoholkonzentration der Gruppe BEGH 67
4.4. Abbaurate der Atemalkoholkonzentration der Gruppe BEGH 68

4.5. Lerneffekte an den stressorfreien Tagen 72
4.6. Gruppenergebnis des SRT in der Trainings- und Studienphase 74
4.7. Studienergebnis der SRT Leistungstest 75
4.8. Boxplot Diagramm der SRT Leistungstest 76
4.9. Tagesrhythmik SRT während der Kontroll- und Schlafentzugstagen 77
4.10. Vergleich der SRT Testergebnisse 78
4.11. Gruppenergebnis des GRT in der Trainings- und Studienphase 80
4.12. Studienergebnis der GRT Leistungstest 81
4.13. Tagesrhythmik GRT während der Kontroll- und Schlafentzugstagen . . . 81
4.14. Boxplot Diagramm der GRT Reaktionszeiten 82
4.15. Vergleich der GRT Testergebnisse 84
4.16. Diagramm der GRT Fehler 85
4.17. Boxplot Diagramm der GRT Fehler für Gleich und für Verschieden 86
4.18. Gruppenergebnis des MST in der Trainings- und Studienphase 87
4.19. Studienergebnis der MST Leistungstest 88
4.20. Tagesrhythmik MST während der Kontroll- und Schlafentzugstagen . . . 88
4.21. Boxplot Diagramm der MST Leistungstest 89
4.22. Vergleich der MST Testergebnisse 91
4.23. Diagramm der MST Fehler 92
4.24. Boxplot Diagramm der MST Fehler 93
4.25. Gruppenergebnis des UTT in der Trainings- und Studienphase 94
4.26. Studienergebnis der UTT Leistungstest 95
4.27. Boxplot Diagramm der UTT Leistungstest 96
4.28. Tagesrhythmik UTT während der Kontroll- und Schlafentzugstagen . . . 96
4.30. Kontrollverlust UTT 97
4.29. Vergleich der UTT Testergebnisse 98
4.31. Gruppenergebnis des DUT-MST in der Trainings- und Studienphase . . . 100
4.32. MST unter Mehrfachbelastung nach Cross-Over-Design 101
4.33. Boxplot Diagramm der MST Leistungstest unter Mehrfachbelastung . . . 101
4.34. Tagesrhythmik DUT-MST während der Kontroll- und Schlafentzugstagen 102
4.35. Vergleich der MST Testergebnisse unter Mehrfachbelastung 103
4.36. Diagramm der DUT-MST Fehler 104
4.37. Boxplot Diagramm der DUT-MST Fehler für Positiv und für Negativ . . . 105
4.38. Gruppenergebnis des DUT-UTT in der Trainings- und Studienphase . . . 106
4.39. Studienergebnis des UTT-Leistungstests unter Mehrfachbelastung (DUT) 107
4.40. Boxplot Diagramm der UTT Leistungstest unter Mehrfachbelastung . . . 108
4.41. Tagesrhythmik DUT-UTT während der Kontroll- und Schlafentzugstagen 108
4.43. Kontrollverlust UTT unter Mehrfachbelastung 109
4.42. Vergleich der UTT Testergebnisse unter Mehrfachbelastung 110
4.44. Subjektive Leistungseinstufung 112

4.45. Boxplot Diagramm der subjektiven Leistungseinstufung 112
4.46. Tagesrhythmik subjektive Leistungseinstufung 113

A.1. Anforderungen an das Auswertetool AGARD2EXCEL 127
A.2. Graphische Benutzeroberfläche von AGARD2EXCEL 128
A.3. Informations-Dialog von AGARD2EXCEL. 129
A.4. VBA Editor 130
A.5. Dialogfenster der Beispielprozedur. 132
A.6. Regions- und Sprachoptionen 133
A.7. Excel Einstellung 133
A.8. Passwort-Schutz 135
A.9. Registrieren eines Add-Ins im Add-In Manager. 136
A.10. Eigenschaftsdialog 137
A.11. Entfernen eines Add-Ins aus der Windows Registry 137
A.12. Entfernen eines Add-Ins unter Excel™ 138
A.13. Eigenschaftseditor der Arbeitsmappe mit der Eigenschaft „IsAddin“. . . . 139
A.14. Aufforderung für das automatische Installieren von AGARD2EXCEL . . . 140
A.15. Erfolgreiche Registrierung des AddIns AGARD2EXCEL. 141
A.16. Menu für das Erzeugen der Arbeitsmappen 146
A.17. Anlegen von Arbeitsmappen für einzelne Probanden 147
A.18. Abbruchdialog 147
A.19. ArbeitsmappeTabellenSicht 150
A.20. Speichern von Arbeitsmappen für einzelne Probanden. 150
A.21. Datenstruktur einer Ergebnisdatei 152
A.22. Menu für das Abarbeiten der AGARD Daten 153
A.23. Angabe der ausgewerteten Daten in der Statusleiste 153
A.24. Dateiauswahldialog. 154
A.25. Ergebnisse als Diagramm 156

Tabellenverzeichnis

2.1. Primäre Schlafstörungen 10

3.1. Biometrische Daten des Probandenkollektivs 33
3.2. Studiendesign PSD 34
3.3. Schlafdauer und Stressoreneinfluss 35
3.4. Sauerstoffpartialdruck in Abhängigkeit von der Höhe 36
3.5. Cross-Over-Design Tag 4 (Hypoxie) 37
3.6. Cross-Over-Design Tag 5 (Alkohol) 38
3.7. Definition der Äquivalenz (*Symbol:* $\leftrightarrow$) durch eine Wahrheitstafel. 45
3.8. Kombinationen von Teilaussagen im GRT 47

4.1. Ergebnisse der Atemalkoholkonzentrationen der Gruppe ACDF 64
4.2. Ergebnisse der Atemalkoholkonzentrationen der Gruppe BEGH 66
4.3. Umsortierung des Cross-Over-Design Tag 4 (Hypoxie) 69
4.4. Umsortierung des Cross-Over-Design Tag 5 (Alkohol) 70
4.5. Studienergebnisse des SRT der Gesamtgruppe 71
4.6. Korrigierte Mittelwerte SRT nach Cross-Over-Design 75
4.7. Tageszeitliche Mittelwerte SRT gemittelt über A-H 76
4.8. Korrigierte Mittelwerte GRT nach Cross-Over-Design 79
4.9. Tageszeitliche prozentuale Abweichungen GRT 82
4.10. Korrigierte Mittelwerte MST nach Cross-Over-Design 87
4.11. Tageszeitliche prozentuale Abweichungen MST 89
4.12. Korrigierte Mittelwerte UTT 94
4.13. Tageszeitliche prozentuale Abweichungen UTT 95
4.14. Anzahl der Kontrollverluste UTT 97
4.15. Vergleich MST Reaktionszeiten unter Einzel- und Mehrfachbelastung . . 99
4.16. MST unter Mehrfachbelastung nach Cross-Over-Design 100
4.17. Vergleich UTT RMS unter Einzel- und Mehrfachbelastung 105
4.18. UTT unter Mehrfachbelastung nach Cross-Over-Design 106
4.19. Anzahl der Kontrollverluste UTT unter Mehrfachbelastung 109
4.20. Subjektive Einschätzung der Arbeitsbelastung (NASA Taskload) 111

5.1. Vergleich aller Stressoren und aller Testverfahren 120

Literaturverzeichnis

[AGARD 1988] AGARD: Aerospace Medical Panel Working Group 12. Performance Assessment Register. / AGARD - Advisory Group for Aerospace Research & Development. 1988. – Neuilly-sur-Seine: AGARD Report No. 763

[AGARD 1989] AGARD: *Aerospace Medical Panel Working Group 12 and AGARD Lecture Series 163*. : AGARD - Advisory Group for Aerospace Research & Development (Veranst.), May 1989

[Åkerstedt 1987] ÅKERSTEDT, T: Sleep/wake disturbances in working life. In: *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 39 (1987), S. 360–363

[Åkerstedt 1995a] ÅKERSTEDT, T: [Increased risk of accidents during night shift. An underestimated problem are fatigue-induced accidents]. In: *Lakartidningen* 92 (1995), Nr. 20, S. 2103–2104

[Åkerstedt 1995b] ÅKERSTEDT, T: Work hours, sleepiness and the underlying mechanisms. In: *J Sleep Res* 4 (1995), Nr. S2, S. 15–22

[Åkerstedt 1998] ÅKERSTEDT, T: Shift work and disturbed sleep/wakefulness. In: *Sleep Med Rev.* 2 (1998), Nr. 2, S. 117–128

[Åkerstedt und Gillberg 1979] ÅKERSTEDT, T ; GILLBERG, M: Effects of sleep deprivation on memory and sleep latencies in connection with repeated awakenings from sleep. In: *Psychophysiology* 16 (1979), Nr. 1, S. 49–52

[Åkerstedt u. a. 2007] ÅKERSTEDT, T. ; KECKLUND, G. ; GILLBERG, M.: Sleep and sleepiness in relation to stress and displaced work hours. In: *Physiol Behav.* 92 (2007), Nr. 1-2, S. 250–255

[Åkerstedt u. a. 2004] ÅKERSTEDT, T ; KECKLUND, G ; JOHANSSON, SE: Shift work and mortality. In: *Chronobiol Int* 21 (2004), Nr. 6, S. 1055–1061

[Åkerstedt und Knutsson 1997] ÅKERSTEDT, T ; KNUTSSON, A: Cardiovascular disease and shift work. In: *Scand J Work Environ Health* 23 (1997), Nr. 4, S. 241–242

[Åkerstedt und Torsvall 1985] ÅKERSTEDT, T ; TORSVALL, L: Napping in shift work. In: *Sleep* 8 (1985), Nr. 2, S. 105–109

[Alhola und Polo-Kantola 2007] ALHOLA, P ; POLO-KANTOLA, P: Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. In: *Neuropsychiatr Dis Treat* 3 (2007), Nr. 5, S. 553–567

[Aschoff 1967a] ASCHOFF, J: Circadian rhythm in man in isolation. In: *Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med.* 73 (1967), S. 941–942

[Aschoff 1967b] ASCHOFF, J: Phase relations between the circadian activity periods and core temperature in humans. In: *Pflugers Arch.Gesamte Physiol Menschen.Tiere.* 295 (1967), Nr. 2, S. 173–183

[Aschoff u. a. 1967] ASCHOFF, J ; GERECKE, U ; WEVER, R: Desynchronization of human circadian rhythms. In: *Jpn. J Physiol* 17 (1967), Nr. 4, S. 450–457

[Aserinsky und Kleitman 1953] ASERINSKY, E ; KLEITMAN, N: Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. In: *Science* 4 (1953), Sept, Nr. 118, S. 273–274

[Ashkenas und McRuer 1959] ASHKENAS, IL ; MCRUER, DT: The Determination of Material Handling Quality Requirements from Airframe/Human-Pilot System Studies / Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 1959. – Wright Air Development Center Report No. TR 59-135

[Atkinson und Shiffrin 1968] ATKINSON, RC ; SHIFFRIN, RM: *Human memory: A proposed system and its control processes*. Bd. 2. In: SPENCE, KW (Hrsg.) ; SPENCE, JT (Hrsg.): *The Psychology of Learning and Motivation* Bd. 2, New York: Academic Press, 1968

[Ayalon u. a. 2009] AYALON, L. ; ANCOLI-ISRAEL, S. ; DRUMMOND, S. P.: Altered brain activation during response inhibition in obstructive sleep apnea. In: *J Sleep Res* 18 (2009), Nr. 2, S. 204–208

[Bartl u. a. 1996] BARTL, G ; LAGER, F ; DOMESLE, L: Test performance with minimal alcoholic intoxication. In: *Blutalkohol* 33 (1996), Nr. 1, S. 1–16

[Bartlett u. a. 2008] BARTLETT, DJ ; MARSHALL, NS ; WILLIAMS, A ; GRUNSTEIN, RR: Sleep health New South Wales: chronic sleep restriction and daytime sleepiness. In: *Intern. Med. J.* 38 (2008), Nr. 1, S. 24–31

[Bauer u. a. 2002] BAUER, F ; GROSS, H ; MUNZ, E ; SAYIN, S: *Berichte des ISO*. Bd. 67: *Arbeits- und Betriebszeiten 2001. Neue Formen des betrieblichen Arbeits- und Betriebszeitmanagements. Ergebnisse einer repräsentativen Betriebsbefragung*. Köln : Verein zur Förderung des Instituts zur Erforschung sozialer Chancen, 2002. – URL `http://www.arbeitszeiten.nrw.de/pdf/Arbeits-_und_Betriebszeiten_2001_Kurzfassung.PDF`. – ISBN 3-934404-22-7

[Berger 1929] BERGER, H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. In: *Arch f Psychiatr* 87 (1929), S. 527–570

[Blagrove u. a. 1994] BLAGROVE, M ; ALEXANDER, C ; HORNE, JA: The effects of chronic sleep reduction on the performance of cognitive tasks sensitive to sleep deprivation. In: *Appl Cogn Psychol* 9 (1994), S. 21–40

[Bradley 1968] BRADLEY, AD: A 3-minute reasoning test based on grammatical transformations. In: *Psychonomic Science* 10 (1968), S. 341–342

[Brown u. a. 2009] BROWN, DL ; FESKANICH, D ; SANCHEZ, BN ; REXRODE, KM ; SCHERNHAMMER, ES ; LISABETH, LD: Rotating night shift work and the risk of ischemic stroke. In: *Am J Epidemiol* 169 (2009), Nr. 11, S. 1370–1377

[Caldwell 1997] CALDWELL, JA J.: Fatigue in the aviation environment: an overview of the causes and effects as well as recommended countermeasures. In: *Aviat Space Environ Med.* 68 (1997), Nr. 10, S. 932–938

[Carrier und Monk 2000] CARRIER, J ; MONK, TH: Circadian rhythms of performance: new trends. In: *Chronobiol Int.* 17 (2000), Nr. 6, S. 719–732

[Crowley u. a. 1992] CROWLEY, JS ; WESENSTEIN, N ; KAMIMORI, G ; DEVINE, J ; IWANYK, E ; T, Balkin: Effect of high terrestrial altitude and supplemental oxygen on human performance and mood. In: *Aviat Space Environ Med* 63 (1992), S. 696–701

[Dalrymple-Alford u. a. 2003] DALRYMPLE-ALFORD, JC ; KERR, PA ; JONES, RD: The effects of alcohol on driving-related sensorimotor performance across four times of day. In: *J Stud Alcohol* 64 (2003), Nr. 1, S. 93–97

[Davis u. a. 1937] DAVIS, H ; DAVIS, PA ; LOOMIS, AL ; HARVEY, EN ; HOBART, G: Changes in human brain potentials during the onset of sleep. In: *Science* 86 (1937), Nov, Nr. 2237, S. 448–450

[Dawson und Reid 1997a] DAWSON, D ; REID, K: Equating the Performance Impairment associated with Sustained Wakefulness and Alcohol Intoxication. In: *J Center for Sleep Research* 2 (1997), S. 1–8

[Dawson und Reid 1997b] DAWSON, D ; REID, K: Fatigue, Alcohol and Performance Impairment. In: *Nature* 388, 17 July 1997 (1997), S. 235

[Dement und Kleitman 1957] DEMENT, W ; KLEITMAN, N: The relation of eye movements during sleep to dream activity: an objective method for the study of dreaming. In: *J Exp Psychol* 53 (1957), Nr. 5, S. 339–346

[Denison u. a. 1966] DENISON, DM ; LEDWITH, F ; POULTON, EC: Complex reaction times at simulated cabin altitudes of 5000 and 8000 feet. In: *Aerospace Med* 37 (1966), S. 1010–1013

[Dinges u. a. 1997] DINGES, DF ; PACK, F ; WILLIAMS, K ; GILLEN, KA ; POWELL, JW ; OTT, GE ; APTOWICZ, C ; PACK, AI: Cumulative sleepiness, mood disturbance, and psychomotor vigilance performance decrements during a week of sleep restricted to 4-5 hours per night. In: *Sleep* 20 (1997), S. 267–277

[Dinges und Powell 1985] DINGES, DF ; POWELL, JW: Mikrocomputer analysis of performance in a portable, simple visual RT task during sustained operations. In: *Beh Res Meth Instr Comp* 17 (1985), S. 652–655

[Donders 1869] DONDERS, FC: On the speed of mental processes. In: *Acta Psychologica* 30 (1869), S. 412–431

[Elbel 1961] ELBEL, H: Neue Ergebnisse der Blutalkoholforschung. In: *Hefte Unfallheilkunde* 66 (1961), S. 74–80

[Elmenhorst 2004] ELMENHORST, D: *Partieller Schlafentzug, Alkohol und Hypoxie und ihre Auswirkung auf die Leistung. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin*. Aachen, RWTH Aachen, Dissertation, 2004

[Elmenhorst u. a. 2009] ELMENHORST, D. ; ELMENHORST, E. M. ; LUKS, N. ; MAASS, H. ; MUELLER, E. W. ; VEJVODA, M. ; WENZEL, J. ; SAMEL, A.: Performance impairment during four days partial sleep deprivation compared with the acute effects of alcohol and hypoxia. In: *Sleep Med* 10 (2009), Nr. 2, S. 189–197

[Englund u. a. 1987] ENGLUND, CE ; REEVES, DL ; SHINGLEDECKER, CA ; THORNE, DR ; WILSON, KP ; HEGGE, FW: Unified Tri-Service Cognitive Performance Assessment Battery (UTC-PAB). 1:Design and Specification of the Battery. In: *Naval Health Research Center Report. San Diego, California.* No. 87-10 (1987)

[Fairclough und Graham 1999] FAIRCLOUGH, S ; GRAHAM, R: Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol: a comparative study. In: *Human Factors* (1999), Nr. 41, S. 118–128

[Friedmann u. a. 1977] FRIEDMANN, J ; GLOBUS, G ; HUNTLEY, A ; MULLANEY, D ; NAITOH, P ; JOHNSON, L: Performance and mood during and after gradual sleep reduction. In: *Psychophysiol* 14 (1977), S. 245–250

[Gerchow 1968] GERCHOW, J: *Alkohol und Verkehrstüchtigkeit*. S. 827–853. In: WAGNER K, Wagner H. (Hrsg.): *Handbuch der Verkehrsmedizin*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 1968

[Groeger u. a. 2004] GROEGER, JA ; ZIJLSTRA, FR ; DIJK, DJ: Sleep quantity, sleep difficulties and their perceived consequences in a representative sample of some 2000 British adults. In: *J Sleep Res* 13 (2004), December, Nr. 4, S. 359–371

[Grubwieser u. a. 2002] GRUBWIESER, P ; HAIDEKKER, A ; PAVLIC, M ; STEINLECHNER, M: BAK-AAK-Quotient im Konzentrationsbereich von 0,5‰ (0,25 mg/l Ausatemluft): Eine Trinkversuchserie mit dem geeichten Atemalkoholtestgerät Alcotest 7110 MK III A (Österreich-Ausführung). In: *Rechtsmedizin* 12 (2002), April, Nr. 2, S. 104–108

[Gustafsson u. a. 1997] GUSTAFSSON, C ; GENNSER, M ; ÖRNHAGEN, H ; DEREFELDT, G: Effects of normobaric hypoxia confinement on visual and motor performance. In: *Aviat Space Environ Med* 68 (1997), S. 985–992

[Hamilton u. a. 1972] HAMILTON, P ; WILKINSON, RT ; EDWARDS, RS: *A study of four days partial sleep deprivation*. S. 101–103. In: COLQUHOUN, WP (Hrsg.): *Aspects of human efficiency*, English Universities Press, London, 1972

[Hart und Staveland 1988] HART, SG ; STAVELAND, LE: *Development of NASA-TLX (Tak Load Index): Results of empirical and theoretical research*. S. 139–183. In: HANCOCK, PA (Hrsg.) ; MESHKATI, N (Hrsg.): *Human Mental Workload*, North Holland, Amsterdem, 1988

[Helmholtz 1850] HELMHOLTZ, H: Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. In: *Arch. Anat. Physiol. Wiss. Med.* (1850), S. 276–364

[Hockey und Hamilton 1983] HOCKEY, R ; HAMILTON, P: *The cognitive patterning of stress states*. Hockey, R. Chichester: John Wiley & Sons, 1983

[Hoddes u. a. 1973] HODDES, E ; ZARCONE, VP ; SMYTHE, H ; PHILIPS, R ; DEMENT, WC: Quantification of sleepiness: A new approach. In: *Psychology* 10 (1973), S. 431–436

[ICSD 2005] ICSD: *The International Classification of Sleep Disorders 2nd ed.: Diagnostic and Coding Manual*. Westchester, IL, American Academy of Sleep Medicine (Veranst.), 2005

[Iglowstein u. a. 2003] IGLOWSTEIN, I ; JENNI, OG ; MOLINARI, L ; LARGO, RH: Sleep duration from infancy to adolescence: reference values and generational trends. In: *Pediatrics* 111 (2003), Nr. 2, S. 302–307

[Jachau u. a. 2000] JACHAU, K ; SCHMIDT, U ; WITTIG, H ; RÖMHILD, W ; KRAUSE, D: Zur Frage der Transformation von Atem- in Blutalkohol-Konzentration. In: *Rechtsmedizin* 10 (2000), S. 96–101

[Jackson und Earl 2006] JACKSON, CA ; EARL, L: Prevalence of fatigue among commercial pilots. In: *Occup Med (Lond)* 56 (2006), Nr. 4, S. 263–268

[Javierre u. a. 1996] JAVIERRE, C ; CALVO, M ; DÍEZ, A ; GARRIDO, E ; SEGURA, R ; VENTURA, JL: Influence of sleep and meal schedules on performance peaks in competitive sprinters. In: *Int J Sports Med* 17 (1996), Nr. 6, S. 404–408

[Jex und Cromwell 1961] JEX, HR ; CROMWELL, CH: Theoretical and Experimental Investigation of Some New Longitudinal Handling Quality Parameters / Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 1961. – Aeronautical Systems Division Report No. TR 61-26

[Jex u. a. 1966] JEX, HR ; MCDONNELL, JD ; PHATAK, AV: A "critical" tracking task for manual control research. In: *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics* 7 (1966), Nr. 4, S. 138–145

[Kawachi u. a. 1995] KAWACHI, I ; COLDITZ, GA ; STAMPFER, MJ ; WILLETT, WC ; MANSON, FE ; HENNEKENS, CH: Prospective study of shift work and risk of coronary heart disease in women. In: *Circulation* 92 (1995), S. 3178–3182

[Köhler u. a. 1997] KÖHLER, H ; BANASCHAK, S ; BRINKMANN, B: AAK-BAK-Vergleichsuntersuchung mit dem „beweissicheren" Alcotestgerät 7110 Evidential. In: *Blutalkohol* 34 (1997), S. 36–44

[Köhler u. a. 2000] KÖHLER, H ; BEIKE, J ; ABDIN, L ; BRINKMANN, B: Fehlerhafte Atemalkoholmessung? Eine Massenstudie mit dem ALCOTEST 7110 MK III Evidential AAK-BAK-Vergleichsuntersuchung mit dem „beweissicheren" Alcotestgerät 7110 Evidential. In: *Blutalkohol* 37 (2000), S. 286–292

[Knutsson 2003] KNUTSSON, A: Health disorders of shift workers. In: *Occup Med (Lond)* 53 (2003), S. 103–108

[Kofler 2002] KOFLER, M: *Excel programmieren*. 5. Addison-Wesley, München, September 2002. – ISBN 3827320216

[Kofler 2004] KOFLER, M: *Excel-VBA programmieren*. 6. Addison-Wesley, München, September 2004. – ISBN 3827321891

[Krüger und Vollrath 2004] KRÜGER, HP ; VOLLRATH, M: The alcohol-related accident risk in Germany: procedure, methods and results. In: *Accid Anal Prev.* 36 (2004), Nr. 1, S. 125–133

[Kripke u. a. 1979] KRIPKE, DF ; SIMONS, RN ; GARFINKEL, L ; HAMMOND, EC: Short and long sleep and sleeping pills. Is increased mortality associated? In: *Arch Gen Psychiatry* 36 (1979), Nr. 1, S. 103–116

[Krull u. a. 1992] KRULL, KR ; SMITH, LT ; KALBFLEISCH, LD ; PARSONS, OA: The influence of alcohol and sleep deprivation on stimulus evaluation. In: *Alcohol* 9 (1992), Sep-Oct, Nr. 5, S. 445–450

[Krull u. a. 1993] KRULL, KR ; SMITH, LT ; SINHA, R ; PARSONS, OA: Simple reaction time event-related potentials: effects of alcohol and sleep deprivation. In: *Alcohol Clin Exp Res.* 17 (1993), Aug, Nr. 4, S. 771–777

[Lee und Taatgen 2002] LEE, FJ ; TAATGEN, NA: Multi-tasking as Skill Acquisition. In: *Proceedings of the twenty-fourth annual conference of the cognitive science society*, Mahwah, NJ, August 2002, S. 572–577

[Leifflen u. a. 1997] LEIFFLEN, D. ; POQUIN, D. ; SAVOUREY, G. ; BARRAUD, P. A. ; RAPHEL, C. ; BITTEL, J.: Cognitive performance during short acclimation to severe hypoxia. In: *Aviat Space Environ Med* 68 (1997), Nr. 11, S. 993–997

[Lenné u. a. 1997] LENNÉ, MG ; TRIGGS, TJ ; REDMAN, JR: Time of day variations in driving performance. In: *Accid Anal Prev* 29 (1997), Nr. 4, S. 431–437

[Loomis u. a. 1935a] LOOMIS, AL ; HARVEY, EN ; HOBART, G: Further observations on the potential rhythms of the cerebral cortex during sleep. In: *Science* 82 (1935), Aug, Nr. 2122, S. 198–200

[Loomis u. a. 1935b] LOOMIS, AL ; HARVEY, EN ; HOBART, G: Potential rhythms of the cerebral cortex during sleep. In: *Science* 81 (1935), June, Nr. 2111, S. 597–598

[Lowden u. a. 2004] LOWDEN, A ; HOLMBACK, U ; AKERSTEDT, T ; FORSLUND, J ; LENNERNAS, M ; FORSLUND, A: Performance and sleepiness during a 24 h wake in constant conditions are affected by diet. In: *Biological Psychology* 65 (2004), Nr. 3, S. 251–263

[Macintosh u. a. 1988] MACINTOSH, JH ; THOMAS, DJ ; OLIVE, JE ; CHESNER, IM ; KNIGHT, RJE: The effect of altitude on tests of reaction time and alertness. In: *Aviat Space Environ Med* 59 (1988), S. 246–248

[Madea u. a. 2007] MADEA, B ; MUSSHOFF, F ; BERGHAUS, G: *Verkehrsmedizin. Fahrsicherheit, Fahreignung, Unfallrekonstruktion*. 1. Auflage. Deutscher Ärzteverlag, 2007. – ISBN 978-3-7691-0490-5

[Mauss 2004] MAUSS, Ch: *Zirkadiane Rhythmik und Schlafqualität: Beeinflussung durch partiellen Schlafentzug im Vergleich zu Hypoxie und Alkohol als Referenzstressoren*. Aachen, RWTH Aachen, Dissertation, 2004. – In german

[McRuer und Jex 1967] MCRUER, DT ; JEX, HR: A review of quasi-linear pilot models. In: *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics* 8 (1967), S. 231–249

[Miller 1956] MILLER, GA: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. In: *Psychological Review* 63 (1956), S. 81–87

[Monk 2005] MONK, T: The Post-Lunch Dip in Performance. In: *Clinics in Sports Medicine* 24 (2005), Nr. 2, S. 15–23

[Ogden und Moskowitz 2004] OGDEN, EJD ; MOSKOWITZ, H: Effects of Alcohol and Other Drugs on Driver Performance. In: *Traffic Injury Prevention* 5 (2004), Nr. 3, S. 185–198

[Paul und Fraser 1994] PAUL, MA ; FRASER, WD: Performance during mild acute hypoxia. In: *Aviat Space Environ Med* 65 (1994), S. 891–899

[Peter u. a. 2007] PETER, H ; PENZEL, T ; PETER, JH: *Enzyklopädie der Schlafmedizin*. 1. Auflage. Springer-Lehrbuch, 2007. – ISBN 978-3-540-28839-8

[Pfendler 1991] PFENDLER, C: Vergleichende Bewertung der NASA-TLX-Skala und der ZEIS-Skala bei der Erfassung von Lernprozessen / Forschungsinstitut für Anthropotechnik, Wachtberg. 1991. – Bericht Nr. 92

[Pilcher und Huffcutt 1996] PILCHER, JJ ; HUFFCUTT, AI: Effects of sleep deprivation on performance: A meta-analysis. In: *Sleep* 19 (1996), S. 318–326

[Pompl 2007] POMPL, W: *Luftverkehr. Eine ökonomische und politische Einführung*. 5. Auflage. Springer-Lehrbuch, 2007. – ISBN 978-3-540-32752-3

[Rechtschaffen und Kales 1968] RECHTSCHAFFEN, A ; KALES, A: *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. National Institute of Health Publications 204, US Government Printing Office, Washington DC (Veranst.), 1968

[Rühle 2006] RÜHLE, KH: *Schlafstörungen*. Bd. LVI. S. 1413–1420. In: REUTER, P (Hrsg.): *Springer Lexikon Diagnose & Therapie* Bd. LVI, Springer-Lehrbuch, 2006. – ISBN 978-3-540-26000-4

[Richardson 2005] RICHARDSON, G: The human circadian system in normal and disordered sleep. In: *J Clin Psychiat* 66 (2005), Nr. 9, S. 3–9

[Rüther und Engfer 1988] RÜTHER, E ; ENGFER, A: *Schlafstörungen: Häufigkeit - Ursachen - medikamentöse Behandlung*. S. 9–24. In: KUBICKI, St (Hrsg.) ; ENGFER, A (Hrsg.): *Schlaf- und Schlafmittelforschung, Neue Ergebnisse und therapeutische Konsequenzen.*, Vieweg-Verlag, 1988. – ISBN 3-528-07987-8

[Samel und Basner 2005] SAMEL, A ; BASNER, M: Extrinsische Schlafstörungen und Lärmwirkungen. In: *Somnologie* 9 (2005), S. 58–67

[Samel u. a. 2005] SAMEL, A ; BASNER, M ; MAASS, H ; QUEHL, J ; WENZEL, J: Effects of nocturnal aircraft noise on performance, annoyance and stress hormones - Overview and results of the DLR study. In: *1st Congress of the World Association of Sleep Medicine (WASM)*, 10 2005, S. 13

[Samel und Gander 1991] SAMEL, A ; GANDER, P: Light as a chronobiologic countermeasure for long-duration space missions / NASA-Ames Research Center, Moffett Field, CA. 1991. – NASA Technical Memorandum 103874

[Samel u. a. 2004] SAMEL, A ; VEJVODA, M ; MAASS, H: Sleep Deficit and Stress Hormones in Helicopter Pilots on 7-Day Duty for Emergency Medical Services. In: *Aviat.Space Environ.Med.* 75 (2004), November, Nr. 11, S. 935–940

[Samel und Wegmann 1988] SAMEL, A ; WEGMANN, HM: Sleep and circadian rhythms of an airline pilot operating on the polar route: a case study. In: *Aviat.Space Environ.Med.* 59 (1988), Nr. 5, S. 443–447

[Samel u. a. 1995] SAMEL, A ; WEGMANN, HM ; VEJVODA, M: Jet lag and sleepiness in aircrew. In: *J.Sleep Res.* 4 (1995), Nr. S2, S. 30–36

[Samel u. a. 1997] SAMEL, A ; WEGMANN, HM ; VEJVODA, M: Aircrew fatigue in long-haul operations. In: *Accid.Anal.Prev.* 29 (1997), Nr. 4, S. 439–452

[Samn und Pirelli 1982] SAMN, SW ; PIRELLI, LP: Estimating air-crew fatigue: A technique with application to airlift operations / USAF School of aerospace medicine, Brooks AFB, TX. 1982. – Technical report SAM-TR-82-21

[Schernhammer u. a. 2001] SCHERNHAMMER, ES ; LADEN, F ; SPEIZER, FE ; WILLETT, WC ; HUNTER, DJ ; KAWACHI, I ; COLDITZ, GA: Rotating night shifts and risk of breast cancer in women participating in the nurses' health study. 93 (2001), Oct 17, Nr. 20, S. 1563–1568

[Schernhammer u. a. 2003] SCHERNHAMMER, ES ; LADEN, F ; SPEIZER, FE ; WILLETT, WC ; HUNTER, DJ ; KAWACHI, I ; FUCHS, CS ; COLDITZ, GA: Night-shift work and risk of colorectal cancer in the nurses' health study. In: *J Natl Cancer Inst* 95 (2003), Nr. 11, S. 825–828

[Schmidt u. a. 2007] SCHMIDT, C ; COLLETTE, F ; CAJOCHEN, C ; PEIGNEUX, P: A time to think: circadian rhythms in human cognition. In: *Cogn Neuropsychol* 24 (2007), Nr. 7, S. 755–789

[Shanahan und Czeisler 2000] SHANAHAN, TL ; CZEISLER, C: Physiological effects of light on the human circadian pacemaker. In: *Semin Perinatol* 24 (2000), S. 299–320

[Shepard 1956] SHEPARD, RJ: Physiological changes and psychomotor performance during acute hypoxia. In: *J Appl Physiol* 9 (1956), S. 343–351

[Shingledecker 1984] SHINGLEDECKER, CA: A Task Battery for Applied Human Performance Assessment Research / Wright-Patterson Air Force Base, Ohio. 1984. – Air Force Airospace Medical Research Laboratories Report No. AFAMRL-TR-84-071

[Singer und Teyssen 2005] SINGER, MV ; TEYSSEN, S: *Alkohol und Alkoholfolgekrankheiten. Grundlagen – Diagnostik – Therapie.* 2. Auflage. Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2005. – ISBN 3-540-22552-8

[Smith u. a. 1998] SMITH, L. ; FOLKARD, S. ; TUCKER, P. ; MACDONALD, I.: Work shift duration: a review comparing eight hour and 12 hour shift systems. In: *Occup. Environ. Med.* 55 (1998), Nr. 4, S. 217–229

[on Extension to the Standard Atmosphere 1976] STANDARD ATMOSPHERE, United States C. on Extension to the: *U.S. standard atmosphere, 1976 / [adopted by the United States Committee on Extension to the Standard Atmosphere]*. National Oceanic and Amospheric [sic] Administration : for sale by the Supt. of Docs., U.S. Govt. Print. Off., Washington :, 1976. – xv, 227 p. : S

[Sternberg 1966] STERNBERG, S: High speed scanning in human memory. In: *Science* 153 (1966), S. 652–654

[Sternberg 1969] STERNBERG, S: The discovery of processing stages: extensions of Donders' method. In: *Acta Psychologica* 30 (1969), S. 276–315

[Sternberg 1975] STERNBERG, S: Memory scanning: New findings and current controversies. In: *Journal of Experimental Psychology* 27 (1975), S. 1–32

[Taub und Berger 1973] TAUB, JM ; BERGER, RJ: Performance and mood following variations in the length and timing of sleep. In: *Psychophysiol* 10 (1973), S. 559–570

[Tilley und Wilkinson 1984] TILLEY, AJ ; WILKINSON, RT: The effects of a restricted sleep regime on the composition of sleep and of performance. In: *Psychophysiol* 21 (1984), S. 406–412

[Vejvoda u. a. 2000] VEJVODA, M ; GÜR, O ; LUKS, N ; MAASS, H ; SAMEL, A: Sleep, Fatigue and Performance in Emergency Medical Service Helicopter Pilots. In: *Symposium on „The Sleepy Driver and Pilot“*, Stockholm/Sweden, IPM, Karolinska Institute, 26.-27. Juni 2000, S. 57

[Vejvoda u. a. 1999] VEJVODA, M ; SAMEL, A ; GÜR, O: Belastung und Beanspruchung von Hubschrauberpiloten im Luftrettungsdienst. In: *Jahrestagung der DGLRM „Medizin und Mobilität “*, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrtmedizin e. V., Köln-Porz, 9.-12. September 1999, S. 26–27

[Vejvoda u. a. 1998] VEJVODA, M ; SAMEL, A ; GÜR, O ; MAASS, H ; LUKS, N ; WENZEL, J: Belastung und Beanspruchung von Hubschrauberpiloten im Luftrettungsdienst / Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrtmedizin e. V, Köln-Porz. 1998. – DLR-IB 316-98-02

[Walkenbach 2001] WALKENBACH, J: *Microsoft Excel 2002 Formulas*. John Wiley & Sons, August 2001. – ISBN 0-7645-4800-X

[Walkenbach 2002] WALKENBACH, J: *Excel 2002 Power Programming with VBA*. John Wiley & Sons, July 2002. – ISBN 0-7645-4799-2

[Walkenbach 2003] WALKENBACH, J: *Excel 2003 Bible*. John Wiley & Sons, September 2003. – ISBN 0-7645-3967-1

[Walkenbach 2004] WALKENBACH, J: *Excel 2003 Power Programming With VBA*. John Wiley & Sons, January 2004. – ISBN 0-7645-4072-6

[Wason 1961] WASON, PC: Response to affirmative and negative binary statements. In: *British Journal of Psychology* 52 (1961), S. 133–142

[Webb und Agnew 1965] WEBB, WB ; AGNEW, HW: Sleep: effects of a restricted regime. In: *Science* 150 (1965), S. 1745–1747

[Wetherell 1996] WETHERELL, A: Performance tests. In: *Environ Health Perspect* 104 (1996), April, Nr. 2, S. 247–273

[Wickens 1976] WICKENS, CD: The effects of divided attention on information processing in manual tracking. In: *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 2 (1976), S. 1–13

[Wickens 1984] WICKENS, CD: *Engineering Psychology and Human Performance*. Charles E Merrill Publishing Co., 1984 (Columbus: Ohio)

[Wilkinson 1968] WILKINSON, RT: *Sleep deprivation: performance tests for partial and selective sleep deprivation*. Bd. 8. S. 28–43. In: ABT, LE (Hrsg.) ; REISS, BF (Hrsg.): *Progress in clinical psychology* Bd. 8, Grune & Stratton, New York, 1968

Danksagung

Ich danke Herrn Universitätsprofessor Dr. med. Rupert Gerzer für die Überlassung des interessanten Themas, in dessen Bearbeitung ich meine Fähigkeiten als Arzt und als diplomierter Informatiker einbringen konnte.

Ein großer Dank geht an Herrn Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Wenzel, der sich nach dem für uns alle unerwarteten Ablebens meines geliebten Betreuers, Herrn Dr. Alexander Samel, bereit erklärt hat, die Korrektur der Arbeit zu übernehmen.

Herrn Universitätsprofessor Dr. med. Thomas Kraus danke ich für die Übernahme der Aufgabe des Berichters und Herrn Universitätsprofessor Dr. med. Wolfgang Dott für die Übernahme der Aufgabe des Vorsitzenders.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Flugphysiologie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin DLR bedanken, ohne die diese Studie nicht zustande gekommen wäre. Mein Dank gebührt insbesondere Herrn Norbert Luks, Herrn Dr. Hartmut Maaß, Frau Louise Mawet, Herrn Ernst Wilhelm Müller, Herrn Gernot Plath, Herrn Manfred Schulze und Herrn Martin Vejvoda. Mein Dank geht auch an die zahlreichen Probanden, die zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben.

Meiner Verlobten Frau Dr. Ayfer Altinay danke ich herzlichst für die entgegengebrachte Liebe und die Geborgenheit, die mich viele Durststrecken bei der Erstellung der Arbeit überwinden ließ.

Zu guter Letzt richte ich einen besonderen Dank an meine Familie für die Geduld und moralische Unterstützung, was wesentlich zum Erfolg der Arbeit beigetragen hat.

Erklärung § 5 Abs. 1 zur Datenaufbewahrung

Hiermit erkläre ich, dass die dieser Dissertation zu Grunde liegenden Originaldaten bei Herrn Universitätsprofessor Dr. med. Rupert Gerzer, Direktor des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin des DLR in Köln und des Instituts für Flugmedizin an der Med. Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, hinterlegt sind.

Okan Gür